

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

## **DIPLOMOVÁ PRÁCA**

2014

Bc. Richard Baleja

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY  
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY

**APLIKÁCIA NÚDZOVÝCH SVIETIDIEL VYBAVENÝCH  
SUPERKONDENZÁTOROM**

**APPLICATION OF EMERGENCY LUMINAIRES POWERED  
BY SUPERCAPACITORS**

2014

Bc. Richard Baleja

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Richard Baleja**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika  
Téma: **Aplikace nouzových svítidel vybavených superkondenzátorem**  
**Application of emergency luminaires powered by supercapacitors**

### Zásady pro vypracování:

- Rozbor požadavků na nouzové osvětlení
- Posouzení možností využití LED v nouzovém osvětlení
- Posouzení možností využití superkondenzátorů v nouzovém osvětlení
- Měření elektrických a světelnotechnických parametrů autonomního nouzového svítidla osazeného LED a napájeného superkondenzátorem
- Měření vlastností autonomního nouzového svítidla osazeného LED a napájeného superkondenzátorem v klimatické komoře

### Seznam doporučené odborné literatury:

Plch, J.: Světelná technika v praxi. IN-EL spol. s.r.o., Praha 1999,  
Habel, J.: Světelná technika a osvětlování. FCC Public, Praha 1995,  
Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU  
Manuály k výpočetním programům (Relux, Dialux, WILS)

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Novák, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
*vedoucí katedry*



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
*děkan fakulty*

**Čestné prehlásenie študenta:**

Prehlasujem, že som celú diplomovú prácu vrátane príloh vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru, z ktorých som čerpal.

V Ostrave .....

.....  
Bc. Richard Baleja

**PodĎakovanie:**

Touto cestou vyjadrujem podĎakovanie váženému pánovi prof. Ing. Karlovi Sokanskému, CSc. a konzultantovi Ing. Tomášovi Novákovi, Ph.D. za čas, ktorý mi venovali i za trpezlivé usmerňovanie a ich cenné rady, ktoré výrazne prispeli k skvalitneniu úrovne diplomovej práce. V neposlednom rade by som rád poďakoval študentovi postgraduálneho štúdia Ing. Zbyňkovi Carbolovi za ústretovosť a ochotu pri riešení problému.

## Anotácia diplomovej práce

BALEJA, Richard. *Aplikácia núdzových svietidiel vybavených superkondenzátorom : diplomová práca*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra Elektroenergetiky, 2014, 86s. Vedúci práce: Ing. Tomáš Novák, Ph.D..

**Abstrakt:** Nosnou témou diplomovej práce je aplikácia núdzového svietidla vybaveného superkondenzátorom, ktorý má potenciál nahradiť doteraz používané zdroje elektrickej energie v oblasti núdzového osvetlenia.

Teoretická časť diplomovej práce sa zaoberá normou ČSN EN 1838, ktorá rieši problematiku núdzového osvetlenia - druhy núdzového osvetlenia, požiadavky na núdzové osvetlenie a rozdelenie priestorov z hľadiska dôležitosti. Posudzuje možnosť využitia LED diódy ako vhodného svetelného zdroja pre núdzové osvetlenie a možnosť použitia superkondenzátora ako vhodného zdroja energie pri núdzovom režime svietidla. Praktická časť diplomovej práce obsahuje elektrické a svetelné merania prototypu núdzového svietidla a bezpečnostnej núdzovej značky.

Hlavným cieľom diplomovej práce je prispieť k vývoju v oblasti nového alternatívneho zdroja elektrickej energie pre núdzové osvetlenie, ktorý so sebou prinesie podstatné finančné úspory vo forme prevádzkových nákladov a v neposlednom rade zdôrazniť významný prínos v oblasti využitia LED diód ako svetelného zdroja v núdzovom osvetlení.

**Kľúčové slová:** núdzové osvetlenie, núdzové svietidlo, LED dióda, samovybíjanie, superkondenzátor, bezpečnostná tabuľka, DC/DC menič, jasový analyzátor, kontrastná farba, kontrast jasů

## Annotation of master Thesis

BALEJA, Richard. *Application of emergency luminaires powered by supercapacitors: Master Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Electrical Power Engineering, 2014, 86p. Thesis head: Ing. Tomáš Novák, Ph.D..

**Abstract:** This diploma thesis deals with the using of emergency luminaires power by supercapacitors, that has a potential to replace traditional sources of electrical energy in field of emergency lighting.

Theoretical part of this thesis is focused on ČSN EN 1838 standart that describes issues of emergency lighting, its types and recommendation and dividing areas according the level of importance. Theoretical part also analyses possibility of using LED diode like suitable light source for emergency lighting and using of supercapacitor like energy source during the emergency regime of lighting device. Practical part of thesis focused on electrical and lighting measurement of emergency lighting device and emergency safety sign.

The main goal of diploma thesis is to bring new ideas in process of developing a new alternative source of electrical energy for emergency lighting, that brings radical operation cost reduction and shows the benefits of using LED diodes like lighting source for emergency lighting.

**Keywords:** emergency lighting, emergency luminaires, LED diode, self-discharge, supercapacitor, emergency safety sign, DC/DC converter, luminance analyzer, contrast color, luminance contrast

## ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Skratka	Popis	Jednotka
$\Phi_E$	Menovitá hodnota svetelného toku	[lm]
$\Phi_N$	Aktuálna hodnota svetelného toku	[lm]
ČSN	Česká technická norma	-
LED	Light emitting diode	-
L	Pozorovacia vzdialenosť	[m]
$z_0$	Činiteľ vzdialenosti	-
H	Výška piktogramu bezpečnostnej tabuľky	[m]
$I_{\max s}$	Maximálna svietivosť svetidiel osvetľujúcich únikové cesty a protipanické osvetlenie	[cd]
$I_{\max sr}$	Maximálna svietivosť svetidiel osvetľujúcich priestory s veľkým rizikom	[cd]
I	Svietivosť zväzku svetelných paprskov	[cd]
A	Veľkosť priemetu pozorovanej svietiacej plochy	[m <sup>2</sup> ]
$\Phi$	Svetelný tok	[lm]
S	Plocha	[m <sup>2</sup> ]
E	Osvetlenosť	[lx]
L	Jas	[cd/m <sup>2</sup> ]
$\Phi_{sv}$	Svetelný tok svetidla	[lm]
$\Phi_Z$	Svetelný tok všetkých zdrojov	[lm]
$\Phi_{STR}$	Stratený svetelný tok	[lm]
T	Doba života	[hod]
$T_c$	Teplota chromatičnosti	[K]
$R_a$	Index podania farieb	-
H	Merný výkon	[lm/W]
P	Elektrický výkon	[W]
$\eta_{sv}$	Účinnosť svetidla	-
PMW	Pulzne šírková modulácia	-
DC	Jednosmerný prúd	[A]



AC	Striedavý prúd	[A]
L	Fázový vodič	-
N	Stredný vodič	-
GND	Uzemnenie	-
EDLC	Elektorochemický dvojvrstvový kapacitor	-
C	Kapacita	[F]
NiCd	Nikel-kadmiový	-
NiMH	Nikel-metal hydridový	-
Pb	Olovený	-
PC	Osobný počítač	-
PDA	Osobný digitálny pomocník	-
ESR	Ekvivalentný sériový odpor	-
$U_{\min}$	Minimálne pracovné napätie meniča	[V]
$U_0$	Začiatkové napätie maximálne nabitého superkondenzátora	[V]
$\Delta U$	Dovolený pokles napätia na kondenzátore	[V]
$t_s$	Požadovaná doba svietenia	[s]
$\eta_{\text{DVR}}$	Účinnosť DC/DC meniča	[-]
$P_1$	Odoberaný konštantný výkon	[W]
k	Činiteľ starnutia kondenzátora	-
$I_{\text{avg}}$	Priemerný odoberaný prúd	[A]
$I_{\min}$	Minimálny prúd	[A]
$I_{\max}$	Maximálny prúd	[A]
$C_s$	Kapacita po zohľadnení životnosti	[F]
$U_2$	Napätie na superkondenzátore po uplynutí 1hod.	[V]
$U_{2(-15^{\circ}\text{C})}$	Napätie na superkondenzátore po uplynutí 1hod. pri teplote $-15^{\circ}\text{C}$	[V]
$\Delta U_K$	Rozdiel napätí po uplynutí jednej hodiny	[%]
$\Delta W$	Rozdiel energií po uplynutí jednej hodiny	[%]
$W_{\text{sup}}$	Celková energia superkondenzátora 2000 F	[J]
$t_{(s)}$	Teoretická doba svietenia LED diódy	[s]
$t_{(\min)}$	Teoretická doba svietenia LED diódy	[min]

$t_{0^{\circ}\text{C}}$	Nameraná doba svietenia LED diody pri $0^{\circ}\text{C}$	[s]
$U_{L0^{\circ}\text{C}}$	Limitná hodnota napätia pre teplotu $0^{\circ}\text{C}$	[V]
$W_{0^{\circ}\text{C}}$	Nevyužitá energia superkondenzátora pri $0^{\circ}\text{C}$	[J]
$W_{\%(0^{\circ}\text{C})}$	Nevyužitá energia superkondenzátora pri $0^{\circ}\text{C}$	[%]
$t_{-15^{\circ}\text{C}}$	Nameraná doba svietenia LED diody pri $-15^{\circ}\text{C}$	[s]
$U_{L-15^{\circ}\text{C}}$	Limitná hodnota napätia pre teplotu $-15^{\circ}\text{C}$	[V]
$W_{-15^{\circ}\text{C}}$	Nevyužitá energia superkondenzátora pri $-15^{\circ}\text{C}$	[J]
$W_{\%(-15^{\circ}\text{C})}$	Nevyužitá energia superkondenzátora pri $-15^{\circ}\text{C}$	[%]
$t_{23^{\circ}\text{C}}$	Nameraná doba svietenia LED diody pri $23^{\circ}\text{C}$	[s]
$U_{L23^{\circ}\text{C}}$	Limitná hodnota napätia pre teplotu $23^{\circ}\text{C}$	[V]
$W_{23^{\circ}\text{C}}$	Nevyužitá energia superkondenzátora pri $23^{\circ}\text{C}$	[J]
$W_{\%(23^{\circ}\text{C})}$	Nevyužitá energia superkondenzátora pri $23^{\circ}\text{C}$	[%]
$t_{50^{\circ}\text{C}}$	Nameraná doba svietenia LED diody pri $50^{\circ}\text{C}$	[s]
$U_{L50^{\circ}\text{C}}$	Limitná hodnota napätia pre teplotu $50^{\circ}\text{C}$	[V]
$W_{50^{\circ}\text{C}}$	Nevyužitá energia superkondenzátora pri $50^{\circ}\text{C}$	[J]
$W_{\%(50^{\circ}\text{C})}$	Nevyužitá energia superkondenzátora pri $50^{\circ}\text{C}$	[%]
$L_{\text{str}}$	Stredný jas kontrastnej bielej farby	[cd/m <sup>2</sup> ]
$z_{\alpha}$	Činiteľ vzdialenosti v prípade pozorovania pod určitým uhlom	[-]
$\beta_{\alpha}$	Väčší činiteľ jasu	[-]
$\beta_{\text{b}}$	Nížší činiteľ jasu	[-]
$C_{\text{x}}$	Kontrast	[-]
$k_{\text{x}}$	Kontrast jasu	[-]
$L_1$	Jas kontrastnej farby	[cd/m <sup>2</sup> ]
$L_2$	Jas bezpečnostnej farby	[cd/m <sup>2</sup> ]
$f_1$	Spektrálna chyba	[%]
$k_{\text{biela}}$	Pomer jasu pre bielu farbu	[-]
$k_{\text{zelená}}$	Pomer jasu pre zelenú farbu	[-]
$U_{\text{n}}$	Namerané napätie LED diod	[V]
$I_{\text{LED}}$	Prúd tečúci LED diódami	[mA]
$\eta_{\text{tab}}$	Účinnosť predradníka bezpečnostnej tabuľky	[-]

$P_{LED}$	Príkon LED diod bezpečnostnej tabuľky	[W]
$P_{cel}$	Celkový potrebný príkon pre bezpečnostnú tabuľku	[W]
$L_{min}$	Minimálny jas bezpečnostnej tabuľky	[cd/m <sup>2</sup> ]
$L_{vys}$	Minimálny jas po znížení príkonu	[cd/m <sup>2</sup> ]
$P_{vys}$	Príkon príkonu pre znížený jas	[W]

## Obsah

<b>1.</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>2.</b>	<b>Núdzové osvetlenie .....</b>	<b>11</b>
2.1.	Druhy núdzového osvetlenia .....	11
2.1.1.	Náhradné osvetlenie .....	12
2.1.2.	Núdzové únikové osvetlenie .....	12
2.1.2.1.	Núdzové osvetlenie únikových ciest .....	12
2.1.2.2.	Protipanické osvetlenie .....	13
2.1.2.3.	Núdzové osvetlenie priestorov s veľkým rizikom .....	13
2.2.	Požiadavky na systavy núdzového osvetlenia .....	13
2.2.1.	Osvetlenie únikových ciest .....	15
2.2.2.	Protipanický priestor .....	16
2.2.3.	Priestor s veľkým rizikom .....	17
2.2.4.	Limity obmedzujúceho oslnenia .....	17
2.3.	Bezpečnostné a iné značenie .....	18
2.3.1.	Bezpečnostné značky .....	18
2.3.2.	Osvetlenie bezpečnostných značiek .....	19
2.3.3.	Činiteľ vzdialenosti pre pozorovanie bežnej bezpečnostnej značky .....	20
2.4.	Typy svietidiel a režimov núdzového osvetlenia .....	21
2.4.1.	Typy núdzových svietidiel .....	22
2.4.2.	Typy režimov núdzových svietidiel .....	22
2.5.	Minimálna doba prevádzky núdzového osvetlenia .....	23
2.6.	Údržba a revízia núdzového osvetlenia .....	23

2.6.1. Dokumentácia .....	23
2.6.2. Prevádzkový denník .....	24
2.6.3. Údržba a skúšky .....	24
2.6.4. Prevádzkové náklady.....	25
2.7. Systémy núdzového osvetlenia .....	26
2.7.1. Svetidlá s vlastnými trvalo dobíjanými akumulátormi.....	26
2.7.2. Riešenie núdzového osvetlenia s autonómnymi batériami .....	27
2.7.3. Svetidlá napájané z centrálného zdroja .....	28
2.7.4. Riešenie núdzového osvetlenia s centrálnym záložným zdrojom .....	28
2.7.5. Finančné porovnanie systémov .....	29
2.7.6. Monitoring núdzového osvetlenia.....	30
2.8. Základné pojmy z oblasti osvetľovania.....	30
<b>3. Možnosti využitia LED v núdzovom osvetlení .....</b>	<b>34</b>
3.1. Svetelné zdroje používané v núdzovom osvetlení .....	34
3.1.1. Žiarivkové svetelné zdroje.....	34
3.1.2. LED svetelné zdroje .....	35
3.2. Kvalita svetla LED diód .....	36
3.3. Voľba odtieňu svetla LED diódy .....	37
3.4. Chladenie LED diód.....	38
3.5. Možnosti napájania svetelných zdrojov v núdzovom osvetlení.....	39
3.5.1. Napájanie LED diód.....	39
3.5.2. Napájanie žiarivkových svetelných zdrojov .....	40
<b>4. Možnosti využitia superkondenzátora v núdzovom osvetlení.....</b>	<b>42</b>

4.1.	Akumulátory a zdroje používané v systémoch núdzového osvetlenia .....	42
4.1.1.	Olovený akumulátor .....	42
4.1.2.	Vysokoteplotný NiCd akumulátor .....	43
4.1.3.	Nikel-metal hydridový akumulátor .....	43
4.1.4.	Porovnanie základných výkonovo-technických parametrov zdrojov elektrickej energie .....	44
4.2.	Princíp funkcie superkondenzátora .....	45
4.3.	Použité materiály v konštrukcii superkondenzátora.....	46
4.4.	Vlastnosti a použitie superkondenzátora .....	47
4.5.	Efektivita a životnosť superkondenzátora .....	48
4.6.	Možnosť využitia superkondenzátora v núdzovom autonómnom svietidle .....	50
4.6.1.	Príklad výpočtu kapacity superkondenzátora pre 1 W LED diódu .....	50
<b>5.</b>	<b>Hodnotenie vlastností autonómneho núdzového svietidla .....</b>	<b>53</b>
5.1.	Samovybíjanie superkondenzátora.....	53
5.2.	Doba svietenia núdzového svietidla.....	59
5.3.	Meranie svetelných parametrov bezpečnostnej únikovej značky .....	64
5.3.1.	Meranie jas.....	65
5.3.2.	Meranie trichromatických súradníc farieb bezpečnostnej tabuľky .....	71
<b>6.</b>	<b>Záver .....</b>	<b>76</b>
	<b>Použitá literatúra:.....</b>	<b>78</b>
	<b>Zoznam príloh: .....</b>	<b>82</b>

### 1. Úvod

Problematika núdzového osvetlenia je pomerne zložitá, a splniť jednotlivé požiadavky dané normou, je náročné. Norma ČSN EN1838 rozdeľuje núdzové osvetlenie do dvoch hlavných skupín a to na núdzové únikové osvetlenie a na náhradné osvetlenie. Núdzové únikové osvetlenie sa ďalej delí na núdzové osvetlenie únikových ciest, protipanicické osvetlenie a osvetlenie priestorov s veľkým rizikom. Požiadavky, ktoré predpisuje norma pre jednotlivé druhy sústav núdzového osvetlenia, sú rôzne. Projektovanie a navrhovanie núdzových osvetľovacích vnútorných priestorov je komplikované a je spojené s množstvom svetelne-technických výpočtov, avšak správne nadimenzované núdzové osvetlenie prispieva k zníženiu investičných a prevádzkových nákladov na osvetlenie.

Hlavnou témou diplomovej práce je posúdenie vlastností superkondenzátora, a jeho použitie v kombinácii s výkonovou LED diódou pre oblasť núdzového osvetlenia. Superkondenzátor sa javí ako adekvátny a alternatívny zdroj energie pre núdzové svietidlo. Superkondenzátor na rozdiel od bežne používaných akumulátorov poskytuje bezúdržbovú prevádzku a vďaka absencii pamäťového efektu má približne dvojnásobnú dĺžku života ako bežné akumulátory. Jeho použitím ako napájacieho zdroja núdzového osvetlenia, prevádzkovateľ nemusí riešiť otázku pravidelnej výmeny elektrochemických záložných zdrojov a údržby zariadenia, ako je to u bežných konvenčných núdzových svietidiel, kde sa táto údržba musí vykonávať každé štyri roky. Táto výhoda prináša značné výhody hlavne v oblasti finančných úspor. Takisto prudký vývoj v oblasti výkonových LED diód, ktorý má za následok zvýšenie hodnôt merných výkonov, priaznivo ovplyvnil požiadavky na používané akumulátory v núdzových svietidlách. Momentálne používané technológie umožňujú výrobu LED diód s merným výkonom až 160 lm/W, ale v budúcnosti sa predpokladá s merným výkonom až 225 lm/W.

Kombinácia LED diódy a superkondenzátora v núdzovom osvetlení sa preto javí ako vhodná a perspektívna možnosť pre dosiahnutia dlhšej životnosti a finančných úspor. Táto kombinácia svetelného zdroja a zdroja energie je teoreticky aplikovateľná aj pre použitie v bezpečnostných núdzových tabuľkách, ktoré na rozdiel od núdzového osvetlenia musia ešte spĺňať požiadavky normy ISO 3864.

Núdzové osvetlenie tvorí veľmi malú časť osvetľovacej sústavy nachádzajúcej sa v uvažovanom objekte, či už finančným objemom alebo svojím rozsahom, ale aj napriek tomu, patrí k veľmi dôležitým prvkom celej tejto sústavy. O správnom a kvalitnom návrhu osvetľovacej sústavy sa človek môže presvedčiť trebárs iba jeden krát v živote. Ak však bude mať smolu, už nikomu nepovie, že mu nefunkčné riešenie v núdzi nepomohlo. [1], [10]

## 2. Núdzové osvetlenie

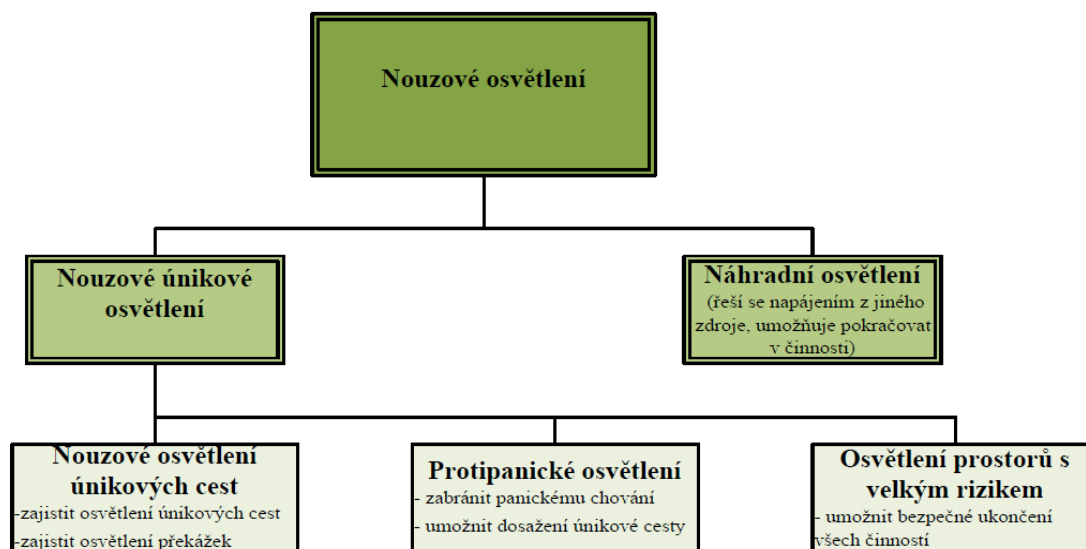
Núdzové osvetlenie slúži pre prípadné zlyhanie normálneho osvetlenia, musí teda zostať funkčné i pri výpadku elektriny. Dôvody zlyhania napájania môžu byť rôzne - od výpadku napájania zo siete cez poruchu na prívodnom vedení, či zapôsobenie prvku ochrany až po haváriu na rozvodnom zariadení. Preto je veľmi dôležité, zabezpečiť napájanie svietidiel núdzového osvetlenia zo zdroja nezávislého na zdroji, ktorý napája normálne osvetlenie.

Hlavným účelom núdzového osvetlenia je umožniť bezpečný odchod z priestoru pri výpadku normálneho osvetlenia. Požiadavky dané normou ČSN EN 1838 na časti systémov núdzových svietidiel sú minimálne a platia pre celé vymedzené obdobie a koniec projektovaného života zariadenia. Minimálna hodnota intenzity osvetlenia je meraná a spracovaná bez príspevkov odrazeného svetelného toku.[1], [9], [10]

### 2.1. Druhy núdzového osvetlenia

Z hľadiska funkcie sa núdzové osvetlenie rozdeľuje podľa normy ČSN EN 1838 na náhradné osvetlenie a núdzové únikové osvetlenie. To sa ďalej člení na núdzové osvetlenie únikových ciest, protipanické osvetlenie a osvetlenie priestorov s veľkým rizikom.

Základný aspekt núdzového osvetlenia je uplatňovaný v prípade núdze, kedy zlyhá funkcia normálneho osvetlenia. V týchto abnormálnych situáciách je vždy hlavná požiadavka ochrana ľudí a ich bezpečný odchod z priestoru, ktorý sa stal trvalo alebo krátkodobo nebezpečný.[1], [9], [7]



Obr. 1: Druhy núdzového osvetlenia [8]



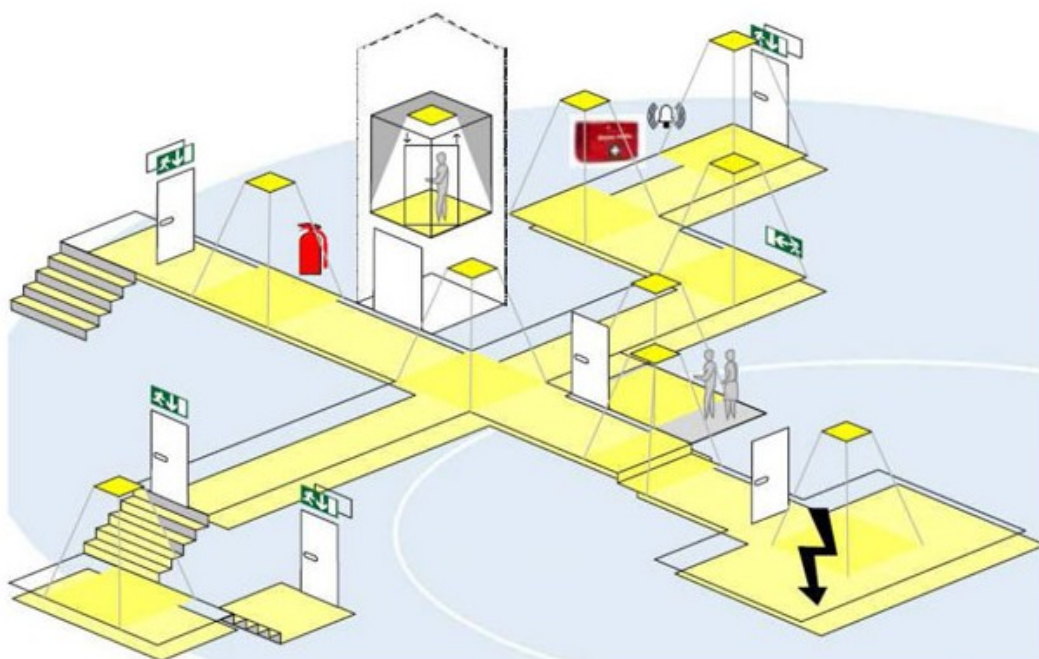
### 2.1.1. Náhradné osvetlenie

V technickej praxi funguje ako priama náhrada normálneho osvetlenia. Umožňuje pokračovanie v činnostiach začatých pred zlyhaním napájania bez významných obmedzení. Náhradné osvetlenie sa rieši napájaním z iného zdroja energie.

Ak sa použije náhradné osvetlenie pre núdzové osvetlenie, musí spĺňať rozhodujúce požiadavky tejto normy. Ak je hladina osvetlenia nižšia ako u minimálneho normálneho osvetlenia, môže byť použité iba pre prerušenie alebo dokončenie činnosti. Zásadnou otázkou riešenia náhradného osvetlenia je dodávka dostatočného množstva elektrickej energie z iného zdroja primeraného výkonu akým je normálny zdroj. (Niekdedy sa môžeme stretnúť s označením tohto osvetlenia ako záložné osvetlenie). [9], [7], [1]

### 2.1.2. Núdzové únikové osvetlenie

Hlavným účelom núdzového únikového osvetlenia je vytvorenie dostatočných podmienok pre bezpečný odchod z priestoru pri výpadku normálneho osvetlenia. Východ alebo smerová značka musí byť viditeľná zo všetkých miest únikovej cesty. [9]



Obr. 2: Príklad umiestnenia núdzového únikového osvetlenia [9]

#### 2.1.2.1. Núdzové osvetlenie únikových ciest

Účelom osvetlenia únikových ciest je umožniť užívateľom bezpečný únik z daných priestorov zaistením dostatočných zrakových podmienok a určením smeru úniku na zvláštnych miestach a zaistiť ľahké dosiahnutie a použitie protipožiarnych a bezpečnostných zariadení.

Núdzové osvetlenie únikových ciest nie je navrhnuté tak, aby umožňovalo pokračovať v bežnej činnosti v obytných alebo prevádzkových priestoroch pri výpadku normálneho alebo náhradného osvetlenia. [9], [7]

### 2.1.2.2. Protipanické osvetlenie

Účelom tohto osvetlenia verejných priestorov je zamedziť nebezpečenstvu vzniku paniky a umožniť bezpečný pohyb smerom k únikovým cestám zaistením dostatočných zrakových podmienok a určením smeru úniku.

Je používané v priestoroch, v ktorých nie sú určené únikové cesty, to znamená v halách alebo v priestoroch s podlahovou plochou väčšou ako 60 m<sup>2</sup>, alebo v menších priestoroch, pokiaľ je v nich prídavné riziko, napríklad používanie priestoru veľkým množstvom ľudí. Smer svetla na únikových cestách a vo verejných priestoroch má byť smerom dolu k pracovnej rovine, osvetlené však majú byť všetky prekážky do výšky dvoch metrov nad touto plochou. [9], [7]

### 2.1.2.3. Núdzové osvetlenie priestorov s veľkým rizikom

Ako priestory s veľkým rizikom sa označujú miesta, ktoré nie je možné evakuovať okamžite po výpadku napájania bežného osvetlenia alebo pri vyvolaní poplachu.

Základným účelom núdzového osvetlenia priestorov s veľkým rizikom je prispieť k bezpečnosti ľudí pri potencionálne nebezpečných procesoch alebo situáciách. Systémy núdzového osvetlenia priestorov s veľkým rizikom sú konštruované pre riadne ukončenie všetkých uskutočňovaných činností a pre bezpečnosť ostatného osadenstva v danom mieste. Pre zaistenie viditeľnosti pri evakuácii je požadované osvetlenie v celom priestore, toto doporučené sa dá splniť montážou svietidiel do výšky aspoň dvoch metrov nad podlahou. [9], [7]

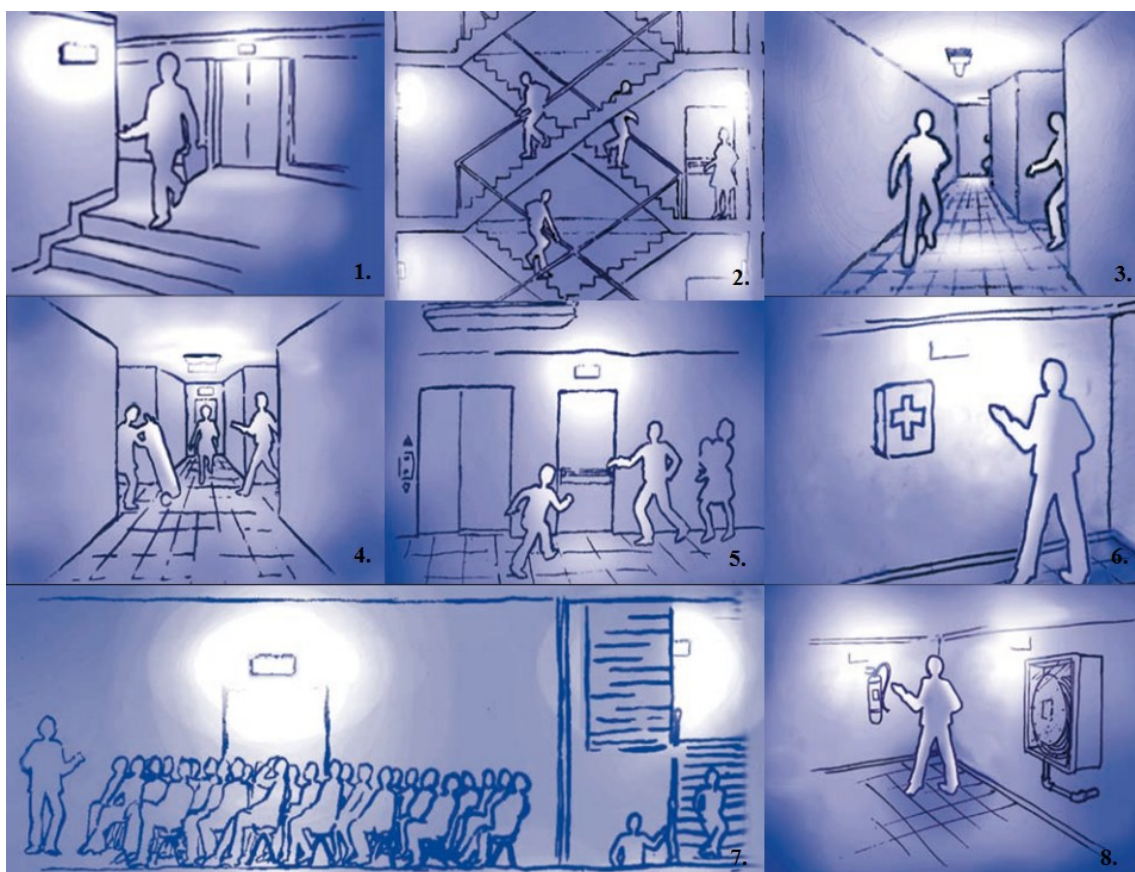
## 2.2. Požiadavky na sústavy núdzového osvetlenia

Základnými požiadavkami na sústavy núdzového osvetlenia je poskytnúť osvetlenie únikovej cesty po celej dĺžke tak, aby umožnila bezpečný pohyb smerom k východu až na miesto bezpečia a zároveň osvetlenie označených únikových ciest. Ďalšou požiadavkou je, aby bolo nápomocné k ľahkému nájdeniu a použitiu požiarnych a bezpečnostných zariadení a umožňovalo vykonávať činnosti súvisiace s bezpečnostným opatrením.

Svietidlá, ktoré sa môžu použiť v núdzovom osvetlení, musia splniť požiadavky normy EN 60598-2-22. Musia byť umiestnené tak, aby zaistili dostatočnú osvetlenosť v blízkosti únikových dverí a v miestach, kde je dôležité zdôrazniť možné nebezpečie.

### Miesta, ktoré musia byť zdôraznené núdzovým osvetlením:

- Každé dvere pre núdzový východ (č.1.)
- Miesta v blízkosti schodišť, a to tak, aby každá rada schodov bola osvetlená priamym svetlom (č.2.)
- Miesta v blízkosti každej zmeny úrovne (č.1.)
- Nariadené únikové východy a bezpečnostné značky (č.7.)
- Miesta pri každej zmene smeru (č.3.)
- Miesta pri každom krížení chodieb (č.4.)
- Miesta von a v blízkosti každého konečného východu (č.5.)
- Miesta v blízkosti každého miesta prvej pomoci (č.6.)
- Miesta v blízkosti každého hasiaceho prostriedku a požiarneho hlásiča (č.8.)



Obr. 3: Miesta, ktoré musia byť zvýraznené núdzovým osvetlením [3]

Núdzové svietidlo musí byť umiestnené bližšie ako dva metre od uvedených miest. Pokiaľ miesta prvej pomoci alebo hasiace prostriedky či požiarne hlásiče nie sú priamo osvetlené na únikovej ceste alebo v priestore, ktorý je opatrený intenzívnejším protipanickým osvetlením, musia byť osvetlené minimálne 5 lx na úrovni podlahy. Od núdzového osvetlenia je požadované, aby index podania farieb Ra svetelných zdrojov, nebol menší ako 40 a svietidla túto hodnotu nesmú

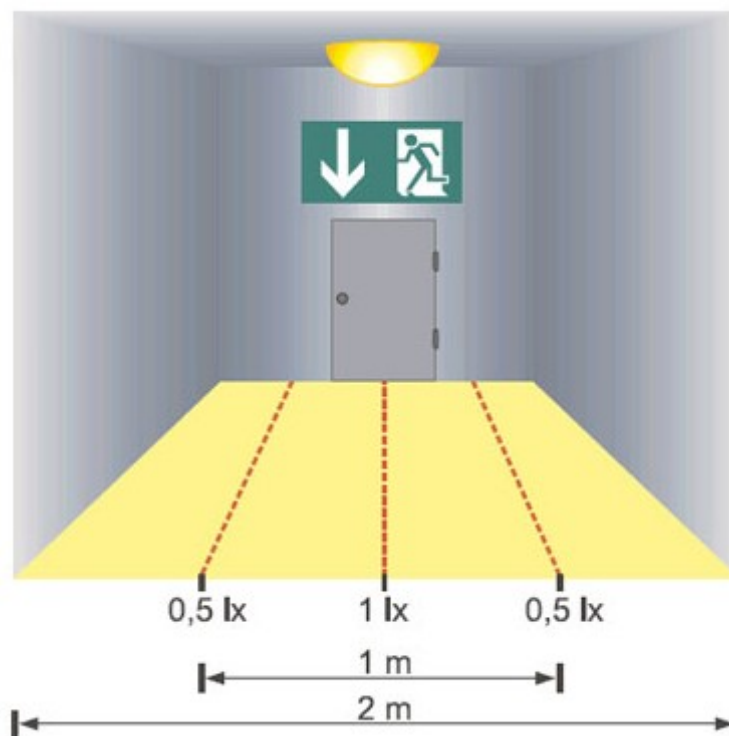
## 2. NÚDZOVÉ OSVETLENIE

podstatne znižovať. Táto hodnota je dôležitá pre správne rozlíšenie bezpečnostných farieb, značiek a piktogramov a platí pre všetky núdzovo osvetlené priestory.

V dobe, kedy má normálne osvetlenie výpadok, musí byť núdzové únikové osvetlenie poskytnuté včas, automaticky a na potrebnú dobu na určenom mieste podľa normy ČSN EN 50172. Núdzové osvetlenie sa musí aktivovať nielen pri úplnom výpadku napájania normálneho osvetlenia, ale i pri obmedzenej poruche normálneho osvetlenia, ako je napríklad porucha v koncovom obvode. [10], [3], [7]

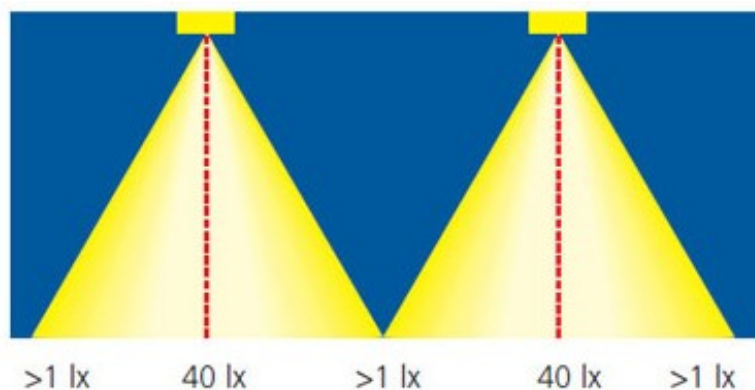
### 2.2.1. Osvetlenie únikových ciest

Pre únikové cesty do šírky dvoch metrov je nevyhnutné, aby horizontálna osvetlenosť na podlahe pozdĺž osi únikovej cesty, nebola menšia ako 1 lx a stredový pás o šírke aspoň polovicu únikovej cesty, bol osvetlený minimálne na 50% tejto hodnoty. O ostatných únikových cestách so šírkou nad dva metre, sa uvažuje ako niekoľkých pásoch širokých dva metre, poprípade je ich možné opatriť protipanickým osvetlením. Pomer maximálnej a minimálnej osvetlenosti pozdĺž osi únikovej cesty nesmie byť väčší ako 1:40. Požadovaná osvetlenosť sa meria na zrovnávacej rovine vo výške dvoch centimetrov nad podlahou.



Obr. 4: Príklad osvetlenia únikovej cesty [9]

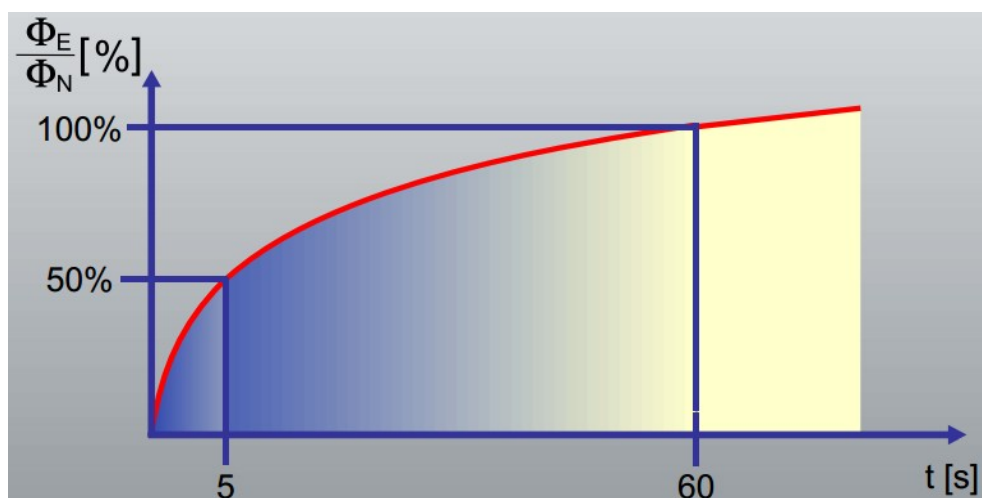
Minimálna doba svietenia núdzového osvetlenia, ktorá je prípustná pre únikové účely, musí byť jedna hodina. Pritom 50% požadovanej osvetlenosti núdzového osvetlenia únikových ciest musí byť dosiahnuté do 5 s a plná požadovaná osvetlenosť musí byť dosiahnutá do 60 s od výpadku normálneho osvetlenia. [9], [11], [2]



Obr. 5: Rovnomernosť osvetlenia únikovej cesty [9]

### 2.2.2. Protipanický priestor

Od protipanického osvetlenia je požadované, aby vodorovná osvetlenosť nebola menšia ako 0,5 lx na úrovni podlahy, vo vnútri prázdneho priestoru s výnimkou obvodového pruhu o šírke 0,5 m. Pomer medzi maximálnom a minimálnou osvetlenosťou pozdĺž osi únikovej cesty nesmie byť väčší, nanajvýš rovný pomeru 1:40.



Obr. 6: Dostupnosť požadovanej hladiny osvetlenia pre únikové cesty a protipanicové priestory [11]

#### Význam veličín v grafe:

$\Phi_E$  - menovitá hodnota svetelného toku

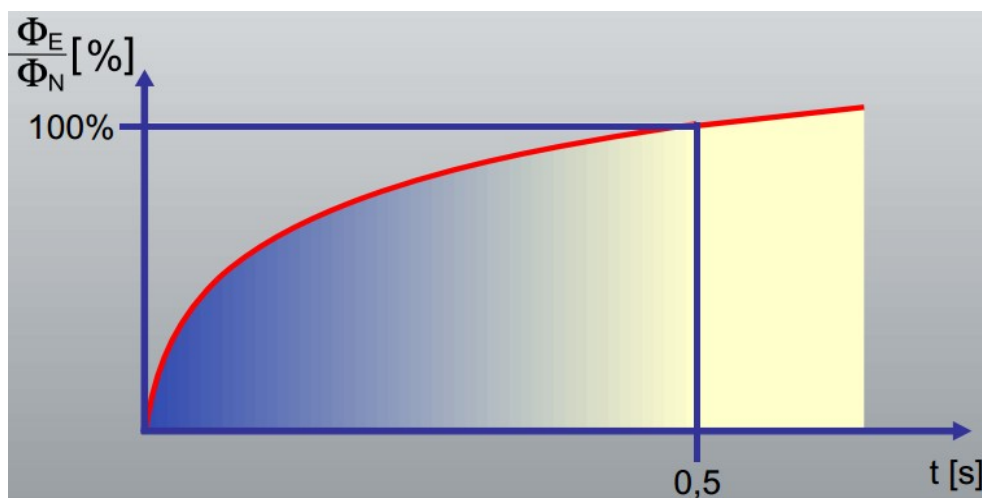
$\Phi_N$  - aktuálna hodnota svetelného toku

Minimálna doba svietenia pre únik musí byť jedna hodina, náběh osvetlenia je rovnaký ako u osvetlenia únikovej cesty a to 50% sa požaduje do 5 s a 100% do 60 s. [11], [3]

### 2.2.3. Priestor s veľkým rizikom

V priestoroch s veľkou mierou rizika nesmie byť udržiavaná osvetlenosť na zrovnávacej rovine menšia ako 10% požadovanej osvetlenosti pre danú činnosť, avšak nesmie byť menšia ako 15 lx. Osvetlenie nemôže spôsobovať nepríjemný a škodlivý stroboskopický jav. Rovnomernosť osvetlenia v priestore s veľkým rizikom nesmie byť menšia ako 0,1. Obmedzujúce osvetlenie musí byť zredukované obmedzením svietivosti núdzových svetidiel v zornom poli. Svetidlá nesmú túto hodnotu podstatne obmedzovať.

Minimálna doba svietenia v priestoroch s veľkým rizikom musí byť rovná dobe trvania nebezpečenstva pre osoby. Núdzové osvetlenie musí poskytovať požadovanú hodnotu osvetlenosti trvalo alebo do 0,5 s v závislosti na jeho použití. [11], [9],[3]



Obr. 7: Dostupnosť požadovanej hodnoty hladiny osvetlenosti pre zvlášť nebezpečné priestory [11]

#### Význam veličín v grafe:

$\Phi_E$  - menovitá hodnota svetelného toku

$\Phi_N$  - aktuálna hodnota svetelného toku

### 2.2.4. Limity obmedzujúceho oslnenia

Obmedzujúce oslnenie je dôležitý faktor, ktorý sa však pri vypracovávaní návrhu inštalácie sleduje len zriedkavo. Tento faktor môže znemožniť dobrú viditeľnosť prekážok alebo značiek. Pre vodorovné a rovné únikové cesty svietivosť svetidla nemá prekročiť doporučené limity v oblasti uhlov od 60° do 90° od kolmice pre všetky uhly azimutu. Pre ostatné priestory a prípady únikových ciest sa nesmú limitné hodnoty prekročiť v žiadnom uhle.

V tabuľke (tab.1.), sú uvedené limitné hodnoty oslnenia definované pre osvetlenie únikových ciest a protipanické osvetlenie, a pre núdzové osvetlenie priestorov s veľkým rizikom, ako je maximálna svietivosť svetidiel pre montážnu výšku nad úrovňou podlahy. Maximálna svietivosť

## 2. NÚDZOVÉ OSVETLENIE

svietidiel pre núdzové osvetlenie priestorov s veľkým rizikom je dvojnásobok hodnôt pre núdzové osvetlenie únikových ciest. [3]

Tab. 1: Limity obmedzujúce oslnenie [8]

montážna výška nad úrovňou podlahy $h$	maximálna svietivosť svietidiel osvetlenia únikových ciest a protipanického osvetlenia $I_{maxs}$	maximálna svietivosť svietidiel núdzového osvetlenia priestorov s vysokým rizikom $I_{maxsr}$
[m]	[cd]	[cd]
$h < 2,5$	500	1000
$2,5 \leq h < 3,0$	900	1800
$3,0 \leq h < 3,5$	1600	3 200
$3,5 \leq h < 4,0$	2500	5 000
$4,0 \leq h < 4,5$	3500	7 000
$h \geq 4,5$	5000	10 000

### 2.3. Bezpečnostné a iné značenie

Základný predpis, ktorý upravuje oblasť bezpečnostných farieb a bezpečnostného značenia, je norma ČSN ISO 3864. Táto norma sa skladá z medzinárodných častí a obsahuje aj päť národných príloh. Zároveň je platná aj norma ČSN ISO 3864-1 Grafické značky – bezpečnostné farby a bezpečnostné značky časť 1.

Je dôležité normalizovať systém poskytovania bezpečnostných informácií tak, aby bolo značenie pochopené bez použitia slov. Na poskytovanie bezpečnostných informácií by sa mal používať univerzálny spôsob, ktorý by bol zrozumiteľný pre väčšinu obyvateľstva. [7]

#### 2.3.1. Bezpečnostné značky

Účelom bezpečnostných farieb a značiek je rýchlo upozorniť na situácie a objekty, ktoré ovplyvňujú zdravie a bezpečnosť a zaistiť rýchle pochopenie určitej informácie. Základné farby a tvary pre informatívny účel o bezpečných podmienkach, možnosti úniku a bezpečnostného zariadenia, sú štvorec alebo obdĺžnik tmavo zelenej farby, kde sa pre grafický symbol alebo kontrastnú farbu môže použiť iba biela farba. Bezpečnostná farba musí pokrývať najmenej 50% celkovej plochy značky. Farba pozadia je vždy zelená a grafická značka je bielej farby. Farby bezpečnostnej značky musia spĺňať požiadavky normy ISO 3864.

Vzhľadom k tomu, že bezpečnostná značka s vnútorným osvetlením je rozoznatel'ná na väčšiu vzdialenosť ako značka osvetľovaná vonkajším osvetlením s rovnakými rozmermi, musíme stanoviť maximálnu pozorovaciu vzdialenosť podľa vzťahu:

$$l = z_0 \cdot h \text{ [m]}, \quad (1)$$

kde:  $l$  - je pozorovacia vzdialenosť,  $z_0$  – je činiteľ vzdialenosti (konštanta, 100 pre značky s vonkajším osvetlením a 200 pre značky s vnútorným osvetlením) a  $h$  -je výška piktogramu.





Obr. 8: Núdzová bezpečnostná značka [13]

Lemovanie alebo okraje sa používajú v dôsledku dosiahnutia vyššieho kontrastu značenia. Okraje presvetlených značiek nesmú mať väčší jas ako kontrastná farba. Bezpečnostné značky sa musia použiť výhradne tak, ako je uvedené v norme. Ak nie sú k dispozícii grafické značky, pre konkrétny význam použijeme doplnkovú alebo tzv. pomocnú značku. Táto značka sa umiestňuje vždy pod bezpečnostnú značku a má tvar obdĺžnika. Tieto značky sa označujú ako kombinované bezpečnostné značky.

V niektorých špeciálnych prípadoch sa používajú tzv. zložené značky. Tieto značky sú kombináciou značiek obsahujúcich dve alebo viac bezpečnostných značiek alebo doplnkových značiek. V danom objekte sa musia použiť vždy značky rovnakého dizajnu, a musia sa umiestniť kolmo na smer úniku. [5], [8], [12]

### 2.3.2. Osvetlenie bezpečnostných značiek

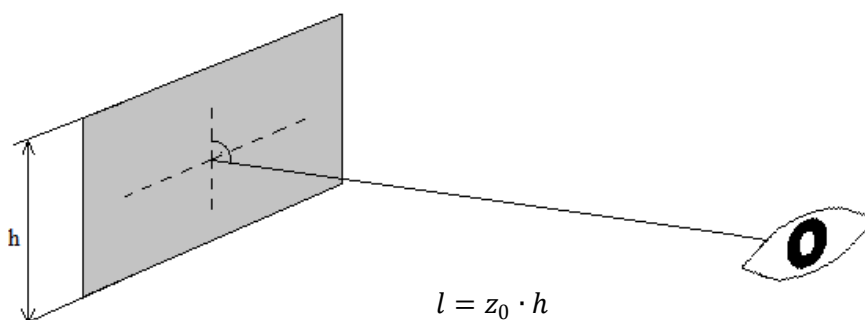
Správne osvetlenie alebo presvietenie bezpečnostných značiek je veľmi dôležité a malo by rešpektovať svetelné pomery v dobe, pre ktorú sú bezpečnostné informácie určené. Základné delenie bezpečnostných značiek je na značky s vnútorným osvetlením a na značky, ktoré sú osvetlené vonkajším osvetlením.

Bezpečnostné značky musia byť osvetlené na 50% požadovanej osvetlenosti do 5 s a na 100% do 60 s. Jas ktorejkoľvek plochy bezpečnostnej farby značky musí byť najmenej  $2 \text{ cd/m}^2$  vo všetkých dôležitých smeroch pohľadu. Ďalším dôležitým kritériom je pomer maximálneho a minimálneho jasu v bielej alebo zelenej bezpečnostnej farbe, ktorý nesmie byť väčší ako 10:1. Je nutné sa vyhnúť i veľkým odchýlkam pomerov jasov bielej a zelenej farby, ktorý nesmie byť menší ako 5:1 a väčší ako 15:1. [8], [12]



### 2.3.3. Činiteľ vzdialenosti pre pozorovanie bežnej bezpečnostnej značky

Činiteľ vzdialenosti sa označuje písmenom  $z$  a používa sa pre vyjadrenie vzťahu medzi pozorovacou vzdialenosťou  $l$  a výškou bezpečnostnej značky  $h$ . Rozmery veličín  $l$  a  $h$  sú rovnaké. Obrázok (obr. 9.) vyobrazený nižšie, zobrazuje pozorovaciu vzdialenosť v polohe kolmej na stred bezpečnostnej značky. Index činiteľa vzdialenosti „0“ znamená, že normálová sledovacia pozícia je stred bezpečnostnej značky.



Obr. 9: Příklad merania normály vzdialenosti na stred bezpečnostnej značky

Činiteľ vzdialenosti závisí na vlastnostiach vnímania prvkoch grafickej značky a jej veľkosti v geometrickom tvare bezpečnostnej značky. Relatívne veľkosti prvkov bezpečnostnej značky a základné geometrické tvary značiek, sú registrované v ISO 7010. Pre bezpečnostné značky osvetľované vonkajším osvetlením je činiteľ vzdialenosti ovplyvnený úrovňou osvetlenia značky. Pri bezpečnostných značkách s vnútorným osvetlením je vzdialenosť ovplyvnená jasom a kontrastom jasu bezpečnostnej značky. Značkám núdzových východov ISO 7010-E001 a E-002 s vnútorným osvetlením sú doporučené hodnoty  $z_0$  pre rôzne svietivosti bielej kontrastnej farby uvedené v tabuľke (tab.2.) Rovnaké hodnoty  $z_0$  je možné použiť aj pre dopĺňujúce smerové šípky s vnútorným osvetlením.



Obr. 10: Značka núdzového východu ISO 7010-E001



Obr. 11: Značka núdzového východu ISO 7010-E002

Tab. 2: Činiteľ vzdialenosti pre značky núdzových východov s vnútorným osvetlením [44]

stredný jas kontrastnej bielej farby $\text{cd/m}^2$	činiteľ vzdialenosti $z_0$
$\geq 10$	150
$\geq 30$	175
$\geq 100$	200
$\geq 200$	215
$\geq 500$	230
pozn. Nad rozsah osvetlení cca $50 \text{ cd/m}^2$ sa z pohybuje približne lineárne s logaritmom jasu	

V prípade pozorovania bezpečnostnej značky pod určitým uhlom, sú rozmery značky redukované, čo má za následok zníženie pozorovacej vzdialenosti pre správne určenie prvkov grafickej značky. Ak existuje uhol  $\alpha$  medzi priamym pohľadom a normálou značky (zo stredného bodu značky), činiteľ  $z_0$  sa vypočíta pomocou vzťahu uvedeného nižšie. [12], [44]

$$z_{\alpha} = z_0 \cdot \cos \alpha \quad (2)$$

#### 2.4. Typy svietidiel a režimov núdzového osvetlenia

Definícia základných požiadaviek na parametre svietidiel pre núdzové osvetlenie je uvedená v norme EN 60598-2-22. Norma rozlišuje nasledujúce typy núdzových svietidiel a režimov núdzového osvetlenia. [7]

### 2.4.1. Typy núdzových svietidiel

- **Svietidlo pre trvalé núdzové osvetlenie:** (núdzové svietidlo v trvalej prevádzke), Má svetelné zdroje pre núdzové osvetlenie zapnuté po celú dobu, pre ktorú je potrebné normálne alebo núdzové osvetlenie. [7], [4]
- **Svietidlo pre dočasné núdzové osvetlenie:** (núdzové svietidlo v pohotovostnom režime), Má svetelné zdroje pre núdzové osvetlenie v činnosti iba vtedy, keď je napájanie normálneho osvetlenia prerušené. [7], [4]
- **Kombinované svietidlo pre núdzové osvetlenie:** (kombinované núdzové svietidlo), Má dva a viac svetelných zdrojov, z ktorých je aspoň prepojený na napájanie núdzového osvetlenia. Ostatné sú napájané z normálneho osvetlenia. Kombinované svietidlo môže byť použité pre trvalé alebo dočasné núdzové osvetlenie. [7], [4]
- **Samostatné svietidlo pre núdzové osvetlenie:** Má všetky súčasti ako je batéria, svetelný zdroj, ovládacie jednotky a skúšobné a monitorovacie zariadenie.

Všetky svietidlá pre núdzové osvetlenie musí byť vhodné pre priamu montáž na normálne horľavé podkladové plochy (označené F). [7], [4]

### 2.4.2. Typy režimov núdzových svietidiel

- **Normálny režim:** Je stav samostatného svietidla pre núdzové osvetlenie, ktoré je pripravené na núdzovú prevádzku, keď je zapnuté normálne napájanie. V prípade poruchy normálneho napájania sa samostatné svietidlo prepne automaticky na núdzový režim. [7], [4]
- **Núdzový režim:** Je stav samostatného svietidla pre núdzové osvetlenie, ktoré zabezpečuje osvetlenie z napájania zo svojho vnútorného napájacieho zdroja, keď nastala porucha normálneho stavu. [7], [4]
- **Režim pokojového stavu:** Je stav samostatného svietidla pre núdzové osvetlenie, ktoré je zámerne zhasnuté keď sa vypne normálne napájanie. V prípade obnovenia normálneho napájania sa vráti automaticky do normálneho stavu. [7], [4]

### 2.5. Minimálna doba prevádzky núdzového osvetlenia

Norma ČSN 1838 požaduje dobu prevádzky pre núdzové osvetlenie únikových ciest a pre protipanické osvetlenie 1 hodinu. Iné normy však požadujú časy iné, ktoré sú buď kratšie alebo dlhšie, v závislosti od druhu priestoru. [14]

Tab. 3: Požadované doby prevádzky pre jednotlivé druhy priestorov [14]

druh priestoru	požadovaná doba	podľa normy
CHÚC A	15 minút	ČSN 73 0802
CHÚC B	30 minút	ČSN 73 0802
CHÚC C	45 minút	ČSN 73 0802
zásahová cesta HZS	1 hodina	ČSN 73 0802, ČSN 73 0810
všeobecne	1 hodina	ČSN EN 1838
Kiná a divadlá	3 hodiny	ČSN 33 2410, ČSN 33 2420
zdravotníctvo	3 hodiny	ČSN 33 2140
priestory s veľkým rizikom	pokiaľ trvá nebezpečie	ČSN EN 1838

### 2.6. Údržba a revízia núdzového osvetlenia

Veľmi dôležitá, ale častokrát zanedbávaná činnosť na núdzovom osvetlení, je údržba systému so všetkým, čo k tomu patrí. Systém núdzového osvetlenia zahŕňa všetky núdzové svietidlá, značky s vnútorným osvetlením, prístroje a zariadenia spojené s núdzovým osvetlením. Sú to batérie, ovládacie prvky a ďalšie príslušenstvo. [6], [15]

#### 2.6.1. Dokumentácia

Vo väčšine prípadov je prevádzkovateľ budovy iný ako vlastník budovy, prípadne sa budova po dokončení dostáva do rúk iného majiteľa. Každý systém núdzového osvetlenia musí mať daného správcu, ktorý bol vymenovaný vlastníkom, prevádzkovateľom budovy, respektíve inou osobou. Táto osoba má prístup ku všetkým informáciám o systéme a má na starosti všetky činnosti, ktoré sú späté s prevádzkou systému. Dokumentácia systému núdzového osvetlenia musí byť k dispozícii v budove, kde je daný systém nainštalovaný.

Dokumentácia musí obsahovať výkresy a schémy všetkých únikových ciest. Musia v nej byť uvedené všetky svietidlá a všetky hlavné súčasti núdzového osvetlenia. Je povinnosťou aktualizovať všetky výkresy, v ktorých bola urobená zmena a dopĺňať do dokumentácie informácie o vykonaných zmenách. Výkresy musia byť podpísané kompetentnou osobou, ktorá zodpovedá za to, že projekt núdzového osvetlenia spĺňa požiadavky dané normou. Súčasťou dokumentácie je

prevádzkový denník. Všetky informácie v dokumentácii musia byť k dispozícii vo forme písaného záznamu alebo na záznamovom médiu. [6], [7], [15]

### 2.6.2. Prevádzkový denník

Prevádzkový denník je určený pre zaznamenávanie bežných prehliadok, skúšok poškodení a zmien. Zodpovedá a vedie ho zodpovedná osoba. Prevádzkový denník musí byť bežne dostupný akejkoľvek oprávnenej osobe.

**Prevádzkový denník musí obsahovať minimálne tieto údaje:**

- dátum uvedenia systému do prevádzky, vrátane všetkých dokladov týkajúcich sa jeho zmien a úprav,
- dátum každej pravidelnej prehliadky,
- dátum a stručný popis každej vykonanej údržby, prehliadky a skúšky,
- dáta a stručné popisy každej úpravy inštalácie núdzového osvetlenia,
- dáta a stručné popisy každej poruchy a jej nápravy,
- pri použití akéhokoľvek automatického skúšobného prístroja musí byť popísané jeho hlavné charakteristiky a spôsob jeho činnosti.

Okrem uvedených informácií môže denník obsahovať aj doplňujúce údaje, ktoré sa týkajú bezpečnosti. Sú to informácie o požiarnej poplachu, informácie a náhradách a zmene súčiastok a svietidiel a podobne. [6], [15]

### 2.6.3. Údržba a skúšky

Údržba a skúšanie sú základom spoľahlivého systému. Skúšky systému sa vykonávajú v dobe, kedy je možnosť rizika najnižšia. Na údržbu systému dohliada zodpovedná osoba, ktorá musí mať dostatočnú právomoc.

Ak je v systéme použité automatické skúšobné zariadenie, údaje z tohto zariadenia musia byť každý mesiac zaznamenávané. Pri ostatných systémoch je potrebné vykonávať pravidelné skúšky a prehliadky a ich výsledky zaznamenávať. Dôležitá je voľba vhodnej doby na testovanie systému núdzového osvetlenia, pretože výpadok zdroja normálneho osvetlenia môže nastať krátko po tom, ako bol systém núdzového osvetlenia vyskúšaný, alebo v priebehu nabíjania batérií po vykonanej skúške. Preto musia byť všetky skúšky, ktoré vyžadujú plnú dobu prevádzky systému vykonávané predtým, ako bude nasledovať obdobie nízkeho nebezpečenstva, umožňujúce opätovné nabitie batérií, prípadne sa uskutočnia dočasné opatrenia do doby, kým sa batérie nabijú. [6], [7], [15]

- **Denné prehliadky a skúšky** - správna funkcia - ukazovateľ centrálneho napájania musí byť kontrolovaný každý deň. Postačuje vizuálna kontrola indikátora, ktorý signalizuje, že systém je v poriadku. Skúška funkcie sa nevyžaduje. [6], [7], [15]
- **Mesačné prehliadky a skúšky** - jedenkrát za mesiac sa musia vykonávať tieto skúšky: rozsvietiť každé svietidlo a každú značku východu s vnútorným osvetlením z ich batérie, a to tak, že sa simuluje výpadok normálneho osvetlenia po dostatočnú dobu pre zistenie, či každý svetelný zdroj svieti. Behom skúšobnej doby musia byť všetky svietidlá a značky skontrolované, či tam sú, či sú čisté a či správne fungujú. Skúšobná doba by mala byť dostatočne dlhá pre účel skúšky, a mala by minimalizovať mieru poškodenia systému, napr. poškodenie svetelných zdrojov. Na záver skúšky by sa malo opäť malo zapnúť normálne osvetlenie a skontrolovať všetky indikačné prístroje a kontrolky, ktoré signalizujú, že normálne osvetlenie bolo obnovené. Systémy s centrálnou batériou vyžadujú aj kontrolu monitorovacieho systému. Ak sa na skúšku použijú automatické skúšobné prístroje, musia byť zaznamenané výsledky funkčných skúšok. [6], [7], [15]
- **Ročné prehliadky a skúšky** - pri použití automatických skúšobných prístrojov sa musia zaznamenávať výsledky skúšok pre plnú menovitú dobu prevádzky. Všetky ostatné núdzové systémy musia mať vykonanú mesačnú kontrolu a okrem toho ešte tieto doplňujúce skúšky:
  - každé svietidlo a každá značka s vnútorným osvetlením musí byť skúšaná ako pri mesačnej skúške, ale po celú menovitú dobu prevádzky, a to v súlade s informáciami od výrobcu,
  - napájanie normálneho osvetlenia sa musí obnoviť a kontroluje sa, či indikátory signalizujú obnovenie normálneho osvetlenia, ďalej sa kontroluje správna funkcia nabíjacieho zariadenia. [6], [7], [15]

Dátumy skúšok a ich výsledky musia byť zaznamenávané v prevádzkovom denníku. [6], [7],[15]

### 2.6.4. Prevádzkové náklady

Pri vypracovávaní projektu svetelnej sústavy je nutné čo najviac optimalizovať prevádzku a údržbu systému núdzového osvetlenia. Náklady na prevádzku, údržbu, vykonávanie skúšok a výmenu nefunkčných súčastí systému, predstavujú nemalú sumu. Zlý návrh umiestnenia svietidiel môže viesť k požiadavke napr. na zapožičanie alebo zriadenie techniky, ktorá umožňuje prácu vo výškach, prípadne k povereniu práce osoby, ktorá je spôsobilá pre prácu vo výškach. Čím zložitejší systém, tým viac sú potrební odborne preškolení pracovníci..

Automatizované systémy, ktoré sú riadené počítačom, sa javia byť najlepšou voľbou pre splnenie uvedených požiadaviek. Celý systém je riadený počítačom, ktorý dokáže inštaláciu zobrazíť v detailoch, skúšky sú vykonávané automaticky a poruchy sú oznamované signálom. Ani

pri týchto systémoch by sa nemalo zabúdať na fyzickú skúšku, ktorá môže odhaliť ich rôzne nedostatky. [6]

### 2.7. Systémy núdzového osvetlenia

Ako v každom odbore aj v núdzovom osvetlení zohrávajú významnú úlohu nové výrobky a rôzne nové riešenia bezpečnostných systémov. Momentálne sú na trhu ponúkané dva typy napájania systému núdzového osvetlenia. Z hľadiska napájania sa núdzové sústavy delia na dve hlavné skupiny:

- sústavy napájané autonómnymi akumulátormi, ktoré sú umiestnené v jednotlivých svietidlách,
- sústavy, ktoré sú napájané z centrálného akumulátorového zdroja.

V oboch prípadoch by mali byť svietidlá napojené na centrálny monitorovací systém, ktorý umožňuje riadiť a vyhodnocovať periodické testy funkčnosti a autonómie a zisťovať možné poruchy na svietidlách z jedného miesta.

Ktorý systém napájania zvoliť je často kladená otázka, na ktorú je náročné odpovedať. Každý systém má svoje výhody aj nevýhody. Pri spracovávaní projektu je dôležité brať do úvahy predovšetkým tieto faktory:

- typ objektu,
- veľkosť objektu,
- funkciu a procesy, ktoré sa v objekte vykonávajú,
- pohyb osôb po budove,
- predpokladaný počet núdzových svietidiel. [7], [16], [18]

#### 2.7.1. Svietidlá s vlastnými trvalo dobíjanými akumulátormi

Pri tomto type napájania trvalé dobíjanie akumulátora zaisťujú káble. V prípade požiaru a pri následnom prehorení kábla napájania, sa svietidlo rozsvieti na svoj vlastný zdroj. Použitý kábel na dobíjanie akumulátora nemusí byť ohňovzdorný, stačí, aby bol daný kábel vhodný na spôsob uloženia. Dôležité je, aby kábel pri horení neuvolňoval jedované látky ako napr. chlór. Ak je kábel uložený minimálne 10 mm pod omietkou, je možné pre núdzové osvetlenie použiť normálny kábel CYKY, ktorý pre spomalenie horenia používa chlór. Ak nie je kábel uložený v kryte s požadovanou požiarou odolnosťou ale je vedený voľne, musí byť použitý kábel bezhalogénový, ktorý jedovatý chlór neobsahuje. V praxi sa káblové trasy k núdzovým svietidlám nezhotovujú ako systémy, ktoré zostanú funkčné pri požiaroch. [16], [17], [18]

### Výhody:

- svieti vždy, keď dostane pokyn, bez ohľadu na stav napájacieho vedenia,
- pravdepodobnosť, že sa poškodia alebo vybijú batérie všetkých svietidiel je veľmi malá,
- jednoduchá a lacná inštalácia,
- maximálna variabilita,
- v prípade potopy alebo požiaru zostávajú núdzové svietidlá po vypnutí napájania v prevádzke na vlastný zdroj bezpečného napätia, takže nehrozí úraz elektrickým prúdom. [16], [17], [18]

### Nevýhody:

- údržba sa vykonáva približne dvakrát za desať rokov výmenou akumulátorov v každom svietidle,
- nižší svetelný výkon núdzového svietidla – nutnosť použiť väčší počet svietidiel,
- kontrola stavu jednotlivých batérií je zdĺhavá. [16], [17], [18]

### 2.7.2. Riešenie núdzového osvetlenia s autonómnymi batériami

Nie vždy je možné zabezpečiť kompletnú výmenu elektrických rozvodov pri rekonštrukcii. Väčšinou sa jedná o pamiatkové chránené budovy, pre ktoré predstavuje systém s autonómnymi batériami kontrolovaný pomocou WirelessControl optimálne riešenie. Svietidlá tohto systému je možné osadiť na pôvodné vývody bez toho, aby bolo nutné vymeniť pôvodnú kabeláž. K inštalácii systému je potrebné iba napájacie napätie 230 V AC a vo väčšine prípadov plne postačujú dva vodiče (L a N), pretože núdzové svietidlá sú v triede izolácie II. V tomto systéme vzájomná komunikácia medzi prvkami systému a nastavovanie prebieha bezdrôtovo.



Obr. 12: Systém núdzového osvetlenia s vlastným akumulátorom [17]



Každé svietidlo začlenené do systému WirelessControl môže komunikovať s centrálou alebo iným núdzovým svietidlom. Týmto spôsobom je možné poskytovať a predávať informácie o stave svietidla do vzdialenosti až 30 m vo vnútri budovy. Bezdrôtové siete dokážu spravovať až 200 svietidiel a každé novo inštalované svietidlo sa dá jednoducho integrovať do pôvodného systému. Každé svietidlo inštalované v systéme nadväzuje kontakt s ďalším uzlovým bodom siete podľa kvality a sily signálu. [17], [18]

### 2.7.3. Svietidlá napájané z centrálného zdroja

Prenos elektrickej energie do svietidla zaisťujú káble. Káblové trasy i káble sú požiarne bezpečnostné zariadenia, a tento systém musí byť konštruovaný so zachovaním funkčnosti pri požiaroch, pretože pri prehorení alebo poškodení kábla by núdzové osvetlenie zhaslo. Používané káble sú vždy bezhalogénové, ohňovzdorné, napr. CHKE-V. Káblové trasy musia zodpovedať požiadavkám PAVUS ZP27/2003 alebo DIN 4102 časť 12, ktoré sú veľmi nákladné.

Centrálny zdroj musí byť umiestnený spolu s príslušným rozvádzačom núdzového osvetlenia v samotnom požiarom úseku, väčšinou v samostatnej rozvodni vyhradenej iba pre požiarne bezpečnostné zariadenie. [16], [17], [18]

#### Výhody:

- údržba centrálného zdroja- mení sa iba jeden akumulátor na jednom mieste približne za 10 rokov,
- vyšší svetelný výkon núdzového svietidla. [16], [17], [18]

#### Nevýhody:

- pri prerušení napájacieho okruhu pre núdzové svietidlá je tento okruh nefunkčný,
- nutnosť používať požiaru odolné káble, terasy, rozvádzače,
- vysoká zriaďovacia cena. [16], [17], [18]

### 2.7.4. Riešenie núdzového osvetlenia s centrálnym záložným zdrojom

Systém núdzového osvetlenia s centrálnou batériou predstavuje inteligentný súbor prvkov, ktoré sú zárukou vysokej miery bezpečnosti. Systém umožňuje spravovanie, obsluhu a vizualizáciu inštalovaných núdzových svietidiel z veľína alebo pracoviska obsluhy. Systém tiež poskytuje štandardný výpis vyskytnutých sa porúch v sledovaných bodoch a prehľadné zobrazenie inkriminovanej pozície priamo v pláne budovy. To uľahčuje prácu v oddelení údržby, pretože technik vie, kde sa porucha nachádza a môže ju efektívne vyriešiť.

Webové rozhranie umožňuje zisťovať informácie o stave zariadenia prostredníctvom ľubovoľného počítača. Ľubovoľné zariadenie, ktoré je začlenené v systéme, môže byť vzdialene

## 2. NÚDZOVÉ OSVETLENIE

kontrolované a ovládané, pričom sú poskytované všetky dôležité informácie o aktuálnom stave. [17], [18],[16]



Obr. 13: Systém núdzového osvetlenia s centrálnou batériou [17]

### 2.7.5. Finančné porovnanie systémov

Tab. 4: Finančné porovnanie systémov núdzového osvetlenia [16]

položka	centrálny zdroj	vlastný akumulátor
počet núdzových svietidiel alebo svietidiel s invertormi	700	800
celkové investičné náklady systému vrátane kabeláže (kč)	10 mil.	4 mil.
prevádzkové a servisné náklady behom 10 rokov (kč)	2 mil.	3 mil.
celkové náklady za 10 rokov (kč)	12 mil.	7 mil.

Z tabuľky (tab.4.), je viditeľný cenový rozdiel pri súčte prevádzkových a investičných nákladov za prvých desať rokov prevádzky vo výške 5 mil. korún v prospech decentralizovaného systému. V oboch systémoch sú náklady na pravidelnú ročnú kontrolu rovnaké. Ďalej sú rovnaké náklady na výmenu svetelných zdrojov a životnosť svetelných zdrojov. Systém s vlastným akumulátorom sa odlišuje iba nákladmi na výmenu akumulátorov, ktoré sa v sledovanom období pohybujú okolo 0,8 mil. korún. Do nákladov sa započítava cena akumulátora a náklady na ich výmenu. Pri systémoch s centrálnou batériou sa požaduje výmena batérie raz za 10 rokov, pri systéme s vlastnou batériou sa ich výmena musí vykonávať každé 4 roky. [16]

### 2.7.6. Monitoring núdzového osvetlenia

Pri použití akéhokoľvek zo spomenutých riešení je sústava monitorovaná podobne. Každé svietidlo má vlastnú adresu a údaje o jeho stave, prípadných poruchách a výsledky testov sú sťahované a zobrazované v počítači obsluhy. Ekonomická možnosť monitoringu, tzv. okruhový monitoring, je možný iba u systému vybaveného centrálnou batériou. To znamená, že prípadná porucha nie je identifikovaná na konkrétnom svietidle ale v danom okruhu. Obsluha má potom za úlohu nájsť poruchové svietidlo a poruchu odstrániť. [19], [18]



Obr. 14: Monitoring núdzového osvetlenia [19]

### 2.8. Základné pojmy z oblasti osvetľovania

Pre pochopenie danej problematiky, porovnanie hlavných typov svetelných zdrojov a vyhodnotenie nameraných hodnôt je dôležité poznať niekoľko základných termínov z oblasti osvetľovania.

#### Svetelný tok:

Svetelný tok zodpovedá množstvu svetla, ktoré vyžaruje svetelný zdroj alebo svietidlo. Označujeme ho písmenom  $\Phi$  a jeho jednotkou je lumen (lm). Svetelný tok predstavuje výkon svetelného zdroja alebo svietidla v meraných svetelne technických jednotkách. [21]

#### Svetelný tok svietidla:

Svetelný tok svietidla  $\Phi_{SV}$ , ktorý je opticky upravený, je daný rozdielom svetelného toku všetkých zdrojov  $\Phi_Z$  umiestených v svietidle a svetelného toku strateného  $\Phi_{STR}$ , ktorý sa stratil pri optickom spracovaní. [21]

$$\Phi_{SV} = \Phi_Z - \Phi_{STR} [lm, lm, lm] \quad (3)$$

### Jas:

Jas svietidla je definovaný ako podiel svietivosti v danom smere a veľkosti priemetu svietiacej plochy do roviny kolmej ku smeru pozorovania. Jas je prakticky meradlom ľudského oka na svetlo, ktoré sa odráža od pozorovanej plochy smerom k pozorovateľovi. Označuje sa písmenom  $L$  a jeho jednotkou je kandela na meter štvorcový ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ). [21]

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos \alpha} [\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}, \text{cd}, \text{m}^2] \quad (4)$$

### Osvetlenosť:

Osvetlenosť je fotometrická veličina definovaná ako svetelný tok dopadajúci na jednotku plochy. Označuje sa písmenom  $E$  a jeho jednotka je lux ( $\text{lx}$ ). Udáva, ako je určitá plocha osvetľovaná, to znamená koľko lumenov svetelného toku dopadá na  $1 \text{ m}^2$ . [21]

$$E = \frac{\Phi}{S} [\text{lx}, \text{lm}, \text{m}^2] \quad (5)$$

### Doba života svetelného zdroja:

Doba života svetelného zdroja je doba, po ktorú svetelný zdroj spĺňa stanovené požiadavky. Doba života sa označuje písmenom  $t$  a udáva sa v hodinách. Požiadavky, na základe ktorých sa posudzuje doba života zdroja, sa viažu buď na pokles svetelného toku v priebehu prevádzky alebo na podiel výpadku zdrojov v prevádzke zo skúšaného súboru. Pre popis podielu výpadku zdrojov zo skúšaného súboru sa používa stredná doba života, po ktorej uplynutí zostáva funkčných ešte 50% svetelných zdrojov. Pre charakterizovanie poklesu svetelného toku svetelných zdrojov sa používa efektívna doba života, ktorá zodpovedá dobe prevádzky, po ktorej svetelný tok klesne na určitú hodnotu. [21]

### Teplota chromatičnosti:

Teplota chromatičnosti charakterizuje biely tón farby vyžarovaného svetla. Označuje sa  $T_c$  a udáva sa v kelvínach (K). Svetelné diódy sa vyrábajú v širokom rozsahu teplôt chromatičnosti (od cca 3000K do 8000K). Kompaktné žiarovky na rozdiel od svetelných diód majú teplotu chromatičnosti rovnakú ako klasické žiarovky cca 2700 K. Tón farby bieleho svetla sa obvykle delí do troch skupín na:

- svetlo s teplou bielym tónom farby (menej ako 3000 K),
- svetlo s neutrálne bielym tónom farby (rozmedzie 3300 - 5300 K),
- a svetlo s chladne bielym tónom farby (viac ako 5300 K). [21]



Obr. 15: Charakterizovanie spektra bieleho svetla pomocou teploty chromatičnosti [28]

### Index podania farieb:

Index podania farieb ( $R_a$ ) vyjadruje mieru skreslenia vnímania farieb pod určitým typom svetelných zdrojov v porovnaní s vnímaním farieb v svetelne teplotných zdrojov (slnko). Index podania farieb sa pohybuje v rozmedzí 0 - 100. Verné vnímanie farieb charakterizuje index podania farieb 100 (svetlo klasických alebo halogénových žiaroviek). Naopak, prípad keď človek nerozlišuje farby vôbec, charakterizuje index podania farieb 0 (svetlo nízkotlakovej sodíkovej výbojky). [21]

### Merný výkon:

Merný výkon svetelného zdroja udáva účinnosť premeny elektrickej energie na svetelnú. Je rovný pomeru vyžarovaného svetelného toku svetelného zdroja a jeho elektrickému príkonu. Merný výkon sa používa na vzájomné porovnanie účinnosti svetelných zdrojov. Označuje sa písmenom  $\eta$  a udáva sa v lumenoch na watt ( $\text{lm/W}$ ). [21]

$$\eta = \frac{\Phi}{P} [\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}, \text{lm}, \text{W}] \quad (6)$$

### Krivky svietivosti:

Vyžarovacie charakteristiky alebo aj krivky svietivosti popisujú rozloženie svetelného toku svietidla do priestoru. [21]

### Účinnosť svietidla:

Účinnosť svietidla udáva mieru využitia svetelného toku zdroja. Charakterizuje hospodárnosť svietidla. Stanovuje sa ako pomer svetelného toku vyžarovaného svietidlom a toku svetelných zdrojov inštalovaných v svietidle. [21]

$$\eta_{SV} = \frac{\Phi_{SV}}{\Phi_Z} [-, \text{lm}, \text{lm}] \quad (7)$$

### Udržovací činiteľ:

Svetelný tok vyžarovaný svietidlami behom prevádzky osvetľovacej sústavy postupne klesá. Udržovací činiteľ vyjadruje mieru tohto poklesu. Príčinou zníženia svetelného toku je pokles svetelného toku zdrojov vplyvom starnutia, znečistením a degradáciou optických častí svietidiel. Normy však uvádzajú požadované svetelné technické parametre, ktoré musia byť dodržané počas celej doby prevádzky osvetľovacej sústavy. Z tohto dôvodu je dôležité svetelnú sústavu pri návrhu predimenzovať. [21]

### Pásmo farby:

Medzné hodnoty trichromatických súradníc  $x, y$  podľa normálneho kolorimetrického pozorovateľa CIE 2°, a činiteľ jasu, alebo jas pre danú farbu. [44]

### **Kontrast:**

Rozdiel činiteľa jasu grafickej značky a jej pozadia, vydelený väčším činiteľom jasu  $\beta_a$  kde  $\beta_b$  je menší činiteľ jasu. [44]

$$C_x = (\beta_a - \beta_b) / \beta_a \quad (8)$$

### **Kontrastná farba:**

Farba, ktorá je kontrastná k bezpečnostnej farbe, pre zvýraznenie bezpečnostnej farby. [44]

### **Kontrast jasu:**

Podiel jasu kontrastnej farby  $L_1$  a jasu bezpečnostnej farby  $L_2$ , kde  $L_1$  je väčšie ako  $L_2$ . [44]

$$k_x = L_1 / L_2 \quad (9)$$

### **Činiteľ jasu:**

Podiel jasu uvažovaného prvku v danom smere a jasu prvku prestupového alebo odrazového dokonalého rozptyľovača rovnako osvetleného. [44]

### 3. Možnosti využitia LED v núdzovom osvetlení

Vývoj nových technológií svetelných zdrojov prináša nové možnosti v konštrukcii svietidiel a tým poskytuje nové možnosti ich uplatnenia v osvetľovaní. V poslednej dobej prebieha najbúrlivejší vývoj a zdokonaľovanie hlavne u svetelných zdrojov nazývaný LED – light emitting diode (svetlo vyžarujúca dióda).

Aj keď princíp svetelnej diódy je známy už niekoľko desaťročí, LED diódy stále ponúkajú priestor pre ich zdokonaľovanie. LED je v princípe jediný zdroj svetla, pri ktorom dochádza k priamemu vyžarovaniu elektromagnetickej energie, nekoherentného svetelného žiarenia prechodom elektrického prúdu. [20], [27]

#### 3.1. Svetelné zdroje používané v núdzovom osvetlení

V súčasnej dobe sa pre zaistenie dostatočného svetelného toku pri zachovaní minimálnych rozmerov, dlhej životnosti zdroja s ohľadom na vlastnú spotrebu systému núdzového osvetlenia, používajú svetelné zdroje s nízkotlakovými výbojkami (lineárne alebo kompaktné žiarivky), prípadne sa používajú špeciálne výbojky tzv. žiarivky so studenou katódou. Avšak neustály vývoj v znižovaní energetickej náročnosti svetelných zdrojov má za následok, že konvenčné zdroje, sú stále viac zamieňané za svetelné zdroje s LED diódami. [26], [21]

##### 3.1.1. Žiarivkové svetelné zdroje

Žiarivky patria do skupiny výbojových zdrojov. Svetelná energia je vyžarovaná do priestoru pri prechode elektrického prúdu prostredím, ktoré obsahuje vodivé plyny alebo pary. Elementárne je tvorená žiarivkovým telieskom, ktorého základ najčastejšie tvorí sklenená trubica naplnená ortuťovými parami a argónom, v ktorej sa nachádzajú žhaviace elektródy. Prechodom elektrického prúdu v trubici nastáva dútnavý výboj žiariaci prevažne v ultrafialovom neviditeľnom pásme. Steny trubice sú pokryté luminoforom, ktorý vygenerované ultrafialové žiarenie prevedie do oblasti viditeľného svetla.

Najčastejšie sa v núdzovom osvetlení používajú tieto výbojové svetelné zdroje : lineárne žiarivky, kompaktné žiarivky, žiarivky so studenou katódou. [26]

##### Výhody žiarivkových svetelných zdrojov:

- vysoká účinnosť premeny elektrickej energie na svetelnú,
- vhodné geometrické parametre,
- veľmi široký sortiment príkonov od 4 do približne 200 W,
- u špeciálnych typov je možné získať Ra až 98, čo ale v prípade núdzového osvetlenia nie je dôležité,

- dlhá životnosť až 20 000 hodín pri dobrej stabilite svetelného toku. [26]

#### **Nevýhody žiarivkových svetelných zdrojov:**

- závislosť tepelného toku na teplote okolitého prostredia,
- nutnosť predradných a štartovacích obvodov, ktoré čiastočne znižujú merný výkon sústavy,
- vplyv počtu zapnutí na životnosť žiarivky,
- obsah ťažkého kovu (ortuti), je požadovaná špeciálna likvidácia po skončení doby života,
- relatívne pomalý nábeh svetelného toku na maximálnu úroveň. [26]

#### **3.1.2. LED svetelné zdroje**

LED dióda je elektronická polovodičová súčiastka, ktorá obsahuje P-N prechod. Prechodom prúdu cez P-N prechod v priepustnom smere sa generuje nekoherentné svetlo s úzkym spektrom. Svetlo vyžarované P-N prechodom je následok elektroluminiscencie. LED diódy patria medzi moderné a veľmi účinné zdroje svetla. Vývoj v oblasti LED diód je veľmi rýchly a nová generácia LED diód s luminoform, s indexom podania farieb viac ako 90, poskytuje kvalitu svetla, ktoré je zrovnateľné s klasickou žiarovkou.

Čo sa týka životnosti LED diód, ďaleko prevyšuje životnosť ostatných svetelných zdrojov. Pri väčšine diód sa udáva životnosť 50 000 hodín, čo je približne 10 krát viac ako životnosť úsporných kompaktných žiaroviek. LED diódy sú známe aj nižšou spotrebou energie, nie sú náchylné na časté rozsvecovanie a príslušnou elektronikou je možné riadiť ich jas. LED diódy vďaka svojim výhodám rýchlo a úspešne nahrádzajú doposiaľ používané svetelné zdroje v núdzovom osvetlení ako sú lineárne a kompaktné žiarivky. [20], [21],[27]

#### **Výhody LED svetelných zdrojov:**

- merný výkon mnohonásobne prevyšuje pomer ostatných svetelných zdrojov,
- vyššia účinnosť transformácie elektrickej energie na svetelnú,
- farba svetla je vytvorená okamžite v luminofoch bez použitia zložitých farebných filtrov,
- pri funkcii stmievania nemení svoju farbu pri znížení napájacieho prúdu,
- vysoká odolnosť proti nárazom,
- rýchly nábeh svetelného toku na maximálnu úroveň,
- odolná voči častému zapínaniu a vypínaniu,
- extrémne dlhá životnosť,
- veľmi malé konštrukčné rozmery,



- neobsahujú nebezpečné látky ako napr. ortuť. [27], [20]

#### **Nevýhody LED svetelných zdrojov:**

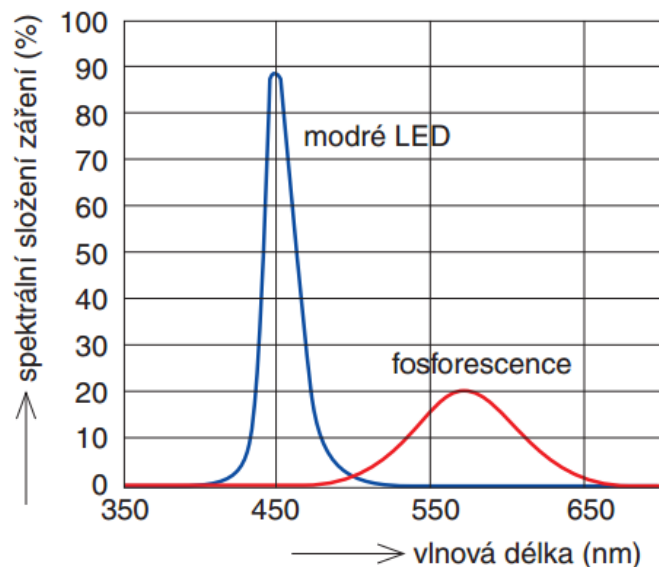
- vyššia zriaďovacia cena (počítaná v cene za 1 lm),
- svetelný výkon je závislý na teplote okolitého prostredia,
- svetelná energia je vyžarovaná len v úzkom paprsku v jednom smere,
- biele svetlo môže skresľovať farby. [27], [20]

#### **3.2. Kvalita svetla LED diód**

V núdzovom osvetlení sa používajú iba LED diódy vyžarujúce biele svetlo. Ich funkcia je založená na modro svietiacom čipe, ktorý je obohatený o luminofor. Pri transformácii modrého svetla na biele sa časť modrého svetla dostane von priamo a zostávajúca časť modrého svetla sa prevedie pomocou luminoforu na väčšie vlnové dĺžky v rozsahu farieb od červenej až do zelenej farby. Podľa toho, aká časť svetla sa prevedie luminoforom, výsledné svetlo je buď teplé biele (s najmenším obsahom modrej farby), neutrálne biele, alebo studené biele.

Častokrát sa rozoberá otázka týkajúca sa vplyvu svetla LED diódy na človeka. Vyskytujú sa názory, že svetlo z LED zdrojov nie je vhodné pre veľký obsah modrej farby. Toto tvrdenie môže platiť pre chladnejšie odtiene svetla. Núdzové osvetlenie, ktoré je v činnosti iba pár hodín v roku, nemôže ovplyvniť zdravie človeka. Tento problém by sa skôr mohol týkať náhradného osvetlenia, ktoré spadá pod núdzové osvetlenie. Naopak výhodou LED je, že nevyžarujú UV žiarenie. Kvalita svetla LED diód je daná indexom podania farieb ( $R_a$ ). Pri luminescentných zdrojov svetla (žiarivky, LED diódy) je daný predovšetkým vlastnosťami luminoforu.

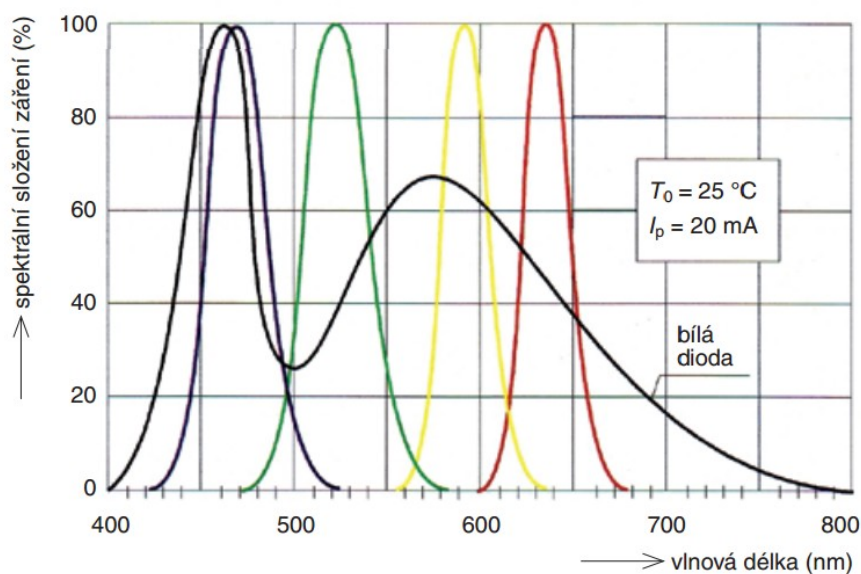
Pri všetkých svetelných zdrojoch používaných v núdzovom osvetlení je požadované  $R_a$  väčšie ako 40, čo prakticky spĺňajú všetky LED diódy. Vyššie požiadavky na hodnotu  $R_a$  sú požadované iba pri náhradnom osvetlení, kde je hodnota  $R_a$  pre danú činnosť určená normou. Úsporné žiarovky na princípe žiaroviek majú pre zvýšenú účinnosť spektrum prevažne čiarové. [29], [24], [27]



Obr. 16: Emisné spektrum bielej LED diódy (luminofor budený svetlom modrej farby) [29]

#### 3.3. Voľba odtieňu svetla LED diódy

Pre osvetlenie interiérov je zásadná voľba odtieňa svetla, index podania farieb a teplota chromatičnosti. Pri použití LED diódy ako zdroja svetla pre núdzové svietidlo, musí daná dióda spĺňať požiadavky, ktoré sú dané normou ČSN EN 1838. Táto norma stanovuje minimálne hodnoty svetelno-technických veličín, ktoré musí dané svietidlo spĺňať. Smerom k teplejším odtieňom klesá účinnosť LED diódy, hlavne pri poklese pod teplotu chromatičnosti 3000 K. Teplota 3000 K je veľmi podobná teplote klasickej žiarovky, a toto svetlo je vhodné pre osvetlenie interiérov a taktiež je vhodné aj pre použitie v núdzovom osvetlení. [29], [24], [21]



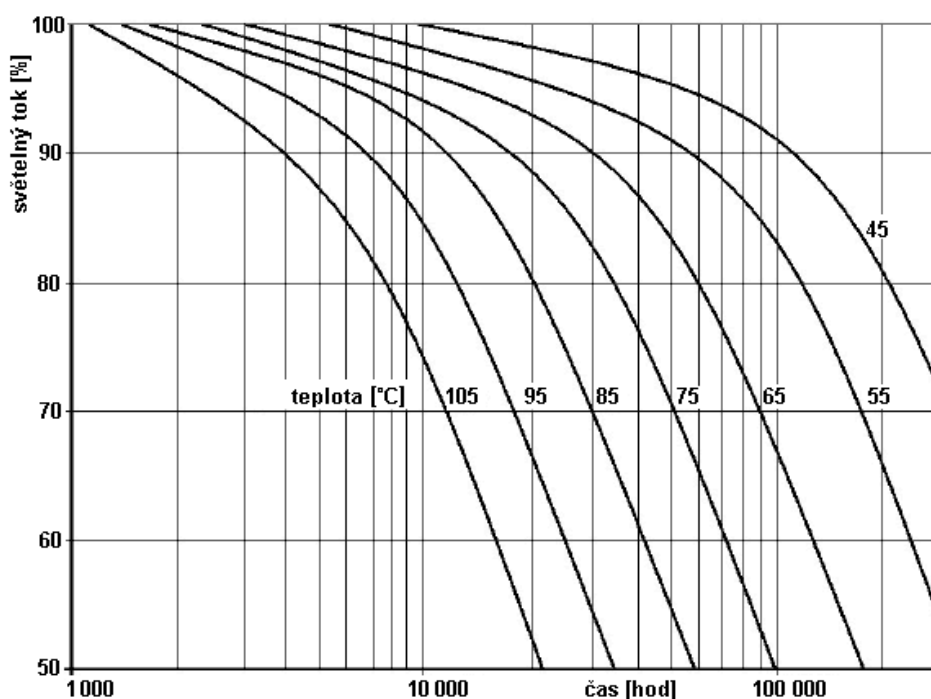
Obr. 17: Emisné spektrum vybraných farebných LED diód [29]

### 3.4. Chladenie LED diód

Účinnosť svetelného zdroja 100% zodpovedá hodnote 640 lm/W. Účinnosť osvetľovacích diód sa pohybuje v rozmedzí okolo 80 až 100 lm/W, to znamená, že účinnosť je približne 15 %. Zostávajúcich 85% privádzaného výkonu sa mení na teplo. Čip LED diódy je potrebné pri prevádzke chladieť a to tak, aby jeho teplota pokiaľ je to možné, neprekročila 80 °C. S narastajúcou teplotou čipu LED diódy totiž klesá jej životnosť.

Pri LED diódach, používaných v núdzovom osvetlení, sa návrhom chladenia netreba zaoberať, pretože prevádzka je požadovaná iba jednu hodinu a za tento čas sa dióda nestihne zahriať na nebezpečnú teplotu. Ďalším dôvodom je, že celkový výkon použitých diód predstavuje len niekoľko jednotiek wattov. Zabezpečením chladenia sa má zmysel zaoberať pri návrhu náhradného osvetlenia, kde doba svietenia nie je stanovená, a taktiež je potrebné použitie svietidiel s ďaleko vyšším výkonom.

Životnosť LED diód pri dobrom chladení je približne 50 000 hodín, pri bežnom svietení v domácnosti sa ich životnosť ráta na 20 rokov. Predpoklad pre využitie plnej doby života LED diódy sa prakticky neuvažuje, pretože za 10 rokov môžu byť vyvinuté nové svetelné zdroje, ktoré budú lacnejšie a budú poskytovať lepšie parametre. V katalógoch sa obvykle udáva životnosť pri poklese svetelného výkonu na 70%. Pri niektorých LED žiarovkách nastáva problém s chladením a prehrievanie výrazne skracuje ich životnosť. Preto je veľmi dôležité použiť vhodný LED modul pri návrhu svietidla s ohľadom na jeho chladenie. [22], [29]



Obr. 18: Závislosť svetelného toku LED diódy na teplote [22]

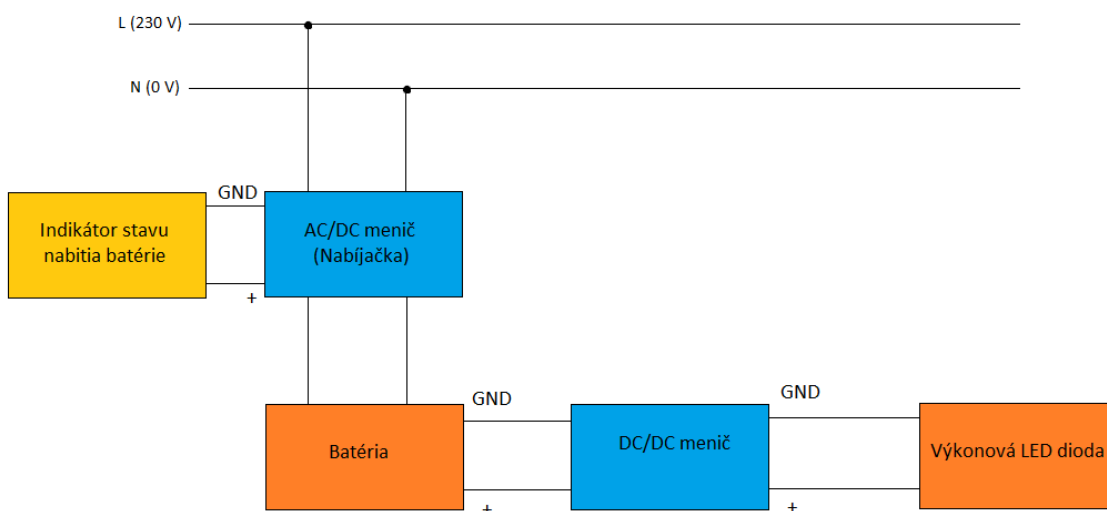
#### 3.5. Možnosti napájania svetelných zdrojov v núdzovom osvetlení

Spôsob napájania svietidiel núdzového osvetlenia závisí od použitého svetelného zdroja a od zvoleného druhu systému núdzového osvetlenia. V oboch prípadoch prevedenia systému núdzového osvetlenia pri výpadku elektrickej energie je svietidlo napájané jednosmerným prúdom z batérie. Preto je nutné použitie ďalších elektronických súčastí pre stabilizáciu napätia a prúdu ako je DC/DC menič alebo PMW. V prípade svietidla vybaveného žiarivkou musí byť svietidlo vybavené striedačom a štartovacím obvodom, pretože žiarivky sú konštruované na striedavé napätie. Každé elektronické zariadenie pracuje s určitou účinnosťou, čo v konečnom dôsledku znižuje celkový výkon svietidla. [25], [29]

##### 3.5.1. Napájanie LED diód

LED dióda má voltampérovú charakteristiku, ktorá je typická pre polovodičový prechod v priepustnom smere. S malým nárastom napätia prudko narastá prúd. Napätie na LED dióde je závislé na teplote, s vyššou teplotou klesá, čo vedie pri napäťovom napájaní k ďalšiemu nárastu prúdu. Z hľadiska stabilnej a bezporuchovej prevádzky je napájanie LED diódy zo zdroja s konštantným napätím neprípustné. Ako napájacie zdroje pre LED diódy sa používajú zdroje konštantného prúdu a LED diódy sa zapájajú do série.

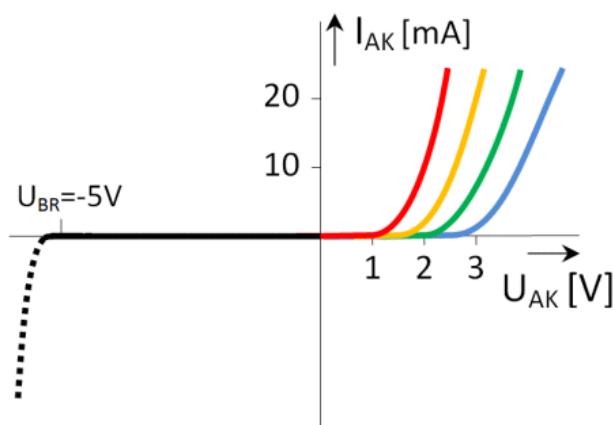
LED diódy je možné napájať aj zo zdroja konštantného napätia, ale iba s použitím odporu. Pre stabilizáciu prúdu je požadovaný úbytok napätia na odpore, ktorý by mal predstavovať zhruba 20% napätia LED diód. Podľa Jouhlovho zákona vzniká na odpore výkonová strata, a preto sa pri výkonových LED diódach spôsob napájania cez odpor nepoužíva. Tento spôsob napájania je využívaný v tzv. LED pásikoch, kde každá trojica LED diód je pripojená na 12 V zdroj cez odpor.



**Obr. 19:** Napájacia schéma núdzového svietidla vybaveného LED diódou

### 3. MOŽNOSTI VYUŽITIA LED DIOD V NÚDZOVOM OSVETLENÍ

Obrázok (obr.19.) znázorňuje principiálnu schému napájania LED diódy s použitím DC/DC meniča. Začiatok prevedenia napájania začína nabíjačkou, ktorá je napájaná zo sieťového napätia. Nabíjačka obsahuje svetelnú signalizáciu, ktorá indukuje stav nabitia akumulátora. Moderné nabíjačky sú charakteristické malou hmotnosťou a rozmermi, čo je výhodné pri konštrukcii núdzového svietidla. Elektronické súčasti nabíjačky ako napríklad usmerňovač napätia (AC/DC menič) sa vyznačujú účinnosťou blízkej jednej. Nabíjačka nabíja batériu a v prípade prerušenia sieťového napájania, batéria začne napájať LED diódu pomocou jednosmerného meniča. DC/DC menič je dôležitý pre stabilizáciu prúdu, odoberané napätie závisí na type použitej diódy. Z voltampérovej charakteristiky diódy je zrejmé, že aj malý pokles napätia má za následok veľký pokles prúdu, čo vedie k zníženiu svetelného toku diódy.



Obr. 20: Voltampérová charakteristika LED diódy [30]

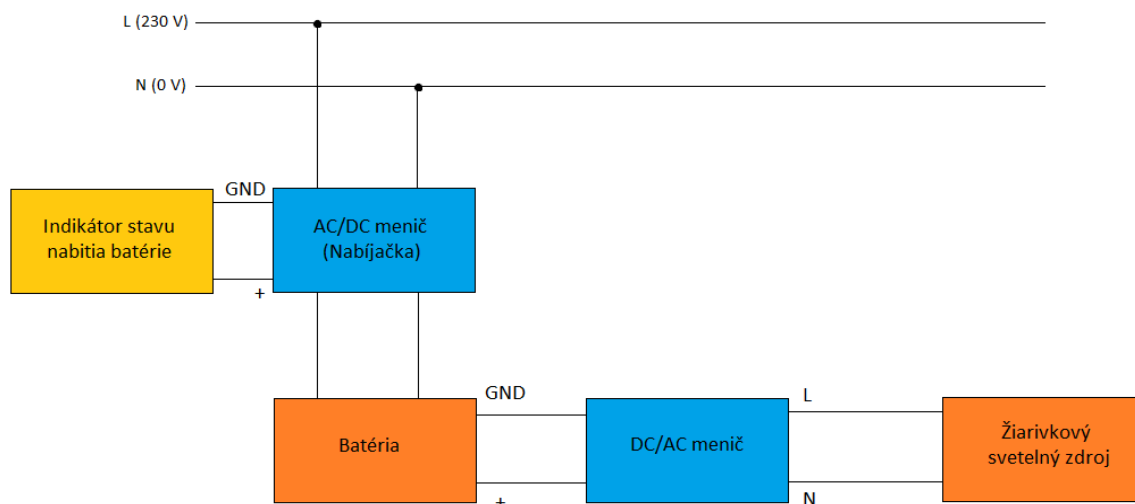
V súčasnosti sa naskytuje možnosť stabilizácie prúdu a napätia pomocou pulzne-šírkovej modulácie (PWM). Prenosový signál, ktorý nesie informáciu o prenášanej hodnote, môže nadobúdať hodnoty zapnutý (log 1) alebo vypnutý (log 0). Hodnota prenášaného signálu je potom daná pomerom medzi týmito dvoma stavmi. Tento pomer sa nazýva strieda. To znamená, že hodnota signálu môže nadobúdať hodnotu v rozmedzí 0 až 100%, pri konštantnej perióde. Nevýhoda PWM je, že dióda je sústavne vypínaná a zapínaná, čo spôsobuje blikanie diódy. Toto blikanie je však ľudským okom nepostrehnuteľné. Ďalšou nevýhodou je, že PWM púšťa do diódy plnú hodnotu prúdu v jednotlivých časových intervaloch, čo má za následok skrátenie životnosti diódy. Ďalší problém nastáva v prípade, keď je ako zdroj prúdu použitá batéria. Strieda v tomto prípade nemôže byť nastavená pevne, ale musí sa postupne prispôbovať, to znamená, že s postupne klesajúcim napätím sa musia predlžovať pulzy aby cez LED diódu tiekol rovnaký prúd a svietila rovnako. Väčšinou sa PWM riadi spätnou väzbou a to tak, že v sérii s LED diódou je zapojený malý odpor, na ktorom sa meria napätie a podľa hodnoty tohto napätia sa reguluje strieda PWM. Z hľadiska efektívnosti je výhodnejšie použiť pre napájanie DC/DC menič. [25], [29], [27], [31]

#### 3.5.2. Napájanie žiarivkových svetelných zdrojov

Napájanie žiarivkových svetelných zdrojov je v princípe rovnaké ako napájanie LED s tým rozdielom, že je nutné nahradiť DC/DC menič DC/AC meničom (striedačom), ktorý jednosmerné

### 3. MOŽNOSTI VYUŽITIA LED DIOD V NÚDZOVOM OSVETLENÍ

napätie z batérie prevedie na požadované striedavé napätie. Svetidlá sú vybavené elektronickým predradníkom (tzv. vysokofrekvenčný predradník), čo je kompaktný elektronický prístroj, ktorý žiarivku rozsvieti a po jej rozsvietení ju napája striedavým prúdom a frekvencii 30 až 50 kHz. Elektronický predradník nahradzuje súbor konvenčných prístrojov - tlmivka, štartér, kompenzačný kondenzátor. Elektronický predradník môže byť prevedený ako súčasť svetelného zdroja napríklad u kompaktných žiaroviek, alebo ako súčasť svetidla priamo nahradzuje predradné prístroje napríklad u lineárnych žiaroviek.



Obr. 21: Napájacia schéma núdzového svetidla vybaveného žiarivkou

Elektrické predradníky majú malú hmotnosť a rozmery, čo vyhovuje požiadavkám pre konštrukciu núdzových svetidiel. Nie sú zdrojom indukčnosti a umožňujú stabilnú prevádzku bez kolísania intenzity osvetlenia. Ich účinnosť sa blíži k jednej a nepotrebujú kompenzačné zariadenia. [21], [26], [32]

### 4. Možnosti využitia superkondenzátora v núdzovom osvetlení

Akumulácia elektrickej energie je jedným z doteraz nedoriešených problémov súčasnej doby. Stále rastúce nároky na spotrebu elektrickej energie sú spojené s veľmi rýchlym nárastom jej ceny. V neposlednom rade je dôležité dbať na ekologickú výrobu, na ktorú sú kladené požiadavky z hľadiska produkovaných emisií. V posledných rokoch došlo vplyvom rozvoju nanotechnológií ku vzniku nových možností akumulácie elektrickej energie a to pomocou elektrického náboja na elektródach.

Zariadenia, ktoré využívajú tento spôsob akumulácie elektrickej energie sú akumulačné kondenzátory, alebo superkondenzátory. Elektrické vlastnosti kondenzátorov sú známe už dlhú dobu, ale vplyvom zdokonalenia povrchu materiálu (elektród, dielektrika, separátora, elektrolytu) sa dajú efektívne využiť pre akumuláciu energie na dlhšiu dobu. [35], [39]

#### 4.1. Akumulátory a zdroje používané v systémoch núdzového osvetlenia

##### 4.1.1. Olovený akumulátor

Olovené akumulátorové batérie sú v súčasnej dobe najpoužívanejším centrálnym zdrojom pre napájanie núdzového osvetlenia. Olovený akumulátor ukladá elektrickú energiu pomocou chemických reakcií. Činné hodnoty akumulátora sú oxid olovičitý na kladnej elektróde a hubovité olovo na zápornej elektróde. Elektródy sú tvorené ako mriežky z olova, legované rôznymi prísadami pre spevnenie, zvýšenie chemickej odolnosti a pre zlepšenie väzby s činnou hmotou. Mriežky slúžia ako nosiče činných hmôt a odvádza sa z nich napätie.

Základný tvar akumulátora je volený tak, aby činný materiál bol pevne zachytený s dokonalým elektrickým stykom a neopadával pri vibráciách. Dosky sa vyrábajú v štandardných veľkostiach a pre odstupňovanie výkonu sa paralelne spájajú do doskových skupín. Kladná a záporná skupina sú zasunuté do seba a tak, že sa jednotlivé kladné a záporné dosky striedajú. Záporná skupina má vždy o jednu skupinu viac. Olovené akumulátory patrili medzi najpoužívanejšie sekundárne elektrochemické zdroje elektrickej energie. Medzi ich najväčšiu výhodu patrí dobre zvládnutá technológia výroby, pomerne vysoký výkon a relatívne nízka cena. [41]



Obr. 22: Olovený akumulátor [40]

### 4.1.2. Vysokoteplotný NiCd akumulátor

Nikel-kadmiový akumulátor je momentálne najbežnejším zdrojom elektrickej energie v systémoch autonómneho napájania núdzového osvetlenia pri prevádzkovom chode. Tento galvanický článok sa vyrába v dvoch prevedeniach. Prevedenie so zaplavenými elektródami a kvapalným elektrolytom sa využíva pre veľké staničné batérie. Hermeticky uzavreté prevedenie sa používa ako akumulátory do remeselných prístrojov a decentralizovaných systémov núdzového osvetlenia. Medzi výhody tohto akumulátora patrí schopnosť skladovania vo vybitom stave a s tým súvisiaca odolnosť proti hlbokému vybitiu. V porovnaní s ostatnými batériami (NiMH) a superkondenzátormi má relatívne nižšiu mernú kapacitu. Nevýhodou týchto akumulátorov je jedovatosť kadmia, z ktorého je zhotovená záporná elektróda. Preto je nevyhnutné tieto akumulátory zbierať rovnako ako olovené akumulátory. Maximálna prevádzková teplota NiCd článku je určená výrobcami na 55 °C, pri ktorej je garantovaná výdrž parametrov v prevádzkovom režime na 4 roky. [33]



Obr. 23: Nikel-kadmiová batéria pre núdzové svetidlo [42]

### 4.1.3. Nikel-metal hydridový akumulátor

V niektorých prípadoch sa záložné zdroje núdzového osvetlenia vybavujú NiMH akumulátormi. NiMH akumulátory sú v podstate obdobou nikel-kadmiových akumulátorov. Boli vyvíjané na základe požiadaviek pre vyššiu kapacitu akumulátora pri rovnakom objeme a s ohľadom na záťaž životného prostredia. Náhradou ťažkého kovu kadmia za zloženie iných kovov akumulátory získali niektoré rozdielne vlastnosti od svojich predchodcov. V porovnaní s NiCd akumulátormi majú väčšiu kapacitu o 40% pri zachovaní rovnakých rozmerov, majú malý vnútorný odpor a nie sú ovplyvňované pamäťovým efektom. Ich nevýhodou je väčšie samovybíjanie, menší rozsah mechanických odolností, väčšia hmotnosť a nižší rozsah pracovných teplôt (zaručená funkcia je do -10°C). [34]





Obr. 24: Nikel-metal hydridový akumulátor pre núdzové svetlá [43]

#### 4.1.4. Porovnanie základných výkonovo-technických parametrov zdrojov elektrickej energie

Porovnanie konvenčných a experimentálnych zdrojov elektrickej energie, ktoré sa používajú vo všetkých aplikáciách s nutnosťou záložného zdroja, sú zobrazené v tabuľke (tab.5.) Z dôvodu porovnania zdrojov aj s iným, ako chemickým spôsobom ukladania elektrickej energie, sú v tabuľke zobrazené aj parametre klasického elektrolytického kondenzátora. V súčasnosti medzi najpoužívanejšie skupiny záložných zdrojov v oblasti dodávky elektrickej energie do núdzových svetiel patria NiCd, NiMH a Pb batérie.

Výkonovo-technické parametre superkondenzátora ponúkajú možnosť využitia v mnohých oblastiach. Najčastejšie sa však superkondenzátory používajú v doprave ako zdroj energie pre hybridné automobily a ako zdroje energie pre záložné zariadenia. Superkondenzátory patria medzi najefektívnejšie zdroje energie novej generácie vďaka svojej vysokej účinnosti nabíjacieho a vybíjacieho procesu a dlhej životnosti (počet nabíjacích cyklov).

Superkapacitor má merný výkon 5 až 10 krát väčší ako konvenčné zdroje v núdzových svetidlách a vyznačuje sa podstatne kratšou nabíjacou a vybíjacou dobou. Pri napájaní núdzového svetidla superkondenzátorom, vybíjacia doba závisí na celkovej účinnosti prenosu elektrickej energie zo záložného zdroja do svetelného zdroja. To znamená, že do úvahy sa musí brať aj účinnosť meniča popri prípade PWM. V porovnaní s klasickým elektrolytickým kondenzátorom superkondenzátor ponúka ďaleko vyššie rozmedzie hodnôt mernej energie.

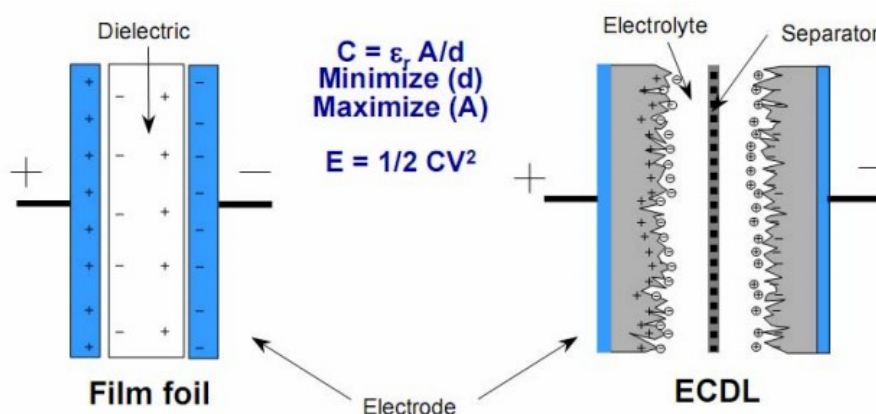
Tab. 5: Výkonovo-technických parametrov zdrojov elektrickej energie

	NiCd batérie	NiMH batérie	Pb batérie	Kondenzátor	Superkondenzátor
<b>nabíjacia doba</b> [h,s]	1 - 5 h	1 - 5 h	1 - 5 h	$10^{-3} - 10^{-6} \text{ s}$	0,3 - 30 s
<b>vybíjacia doba</b> [h, s]	1 - 2 h	2 - 4 h	0,3 - 3 h	$10^{-3} - 10^{-6} \text{ s}$	0,3 - 30 s
<b>merná energia</b> [Wh/kg]	40 - 60	60 - 80	30 - 40	< 0,1	1 - 10
<b>merný výkon</b> [W/kg]	< 1500	< 3 000	< 1 000	< 100 000	< 10 000
<b>životnosť</b> [cyklov]	500 - 1 000	1 000 - 1 500	1 000	> 500 000	> 1 000 000
<b>účinnosť</b> [%]	> 80	> 80	70 - 85	> 95	85 - 98

Súčasná úroveň elektronických technológií, ktoré elektricky spájajú superkondenzátor so svetelným zdrojom (v tomto prípade vysokosvietivá LED) vo svietidle núdzového osvetlenia, umožňuje použitie v aplikáciách zabezpečujúce únikové, protipanické osvetlenie a osvetlenie miest s požiarnymi hlásičmi, hasiacimi prostriedkami a miest s prvou pomocou. [39], [41], [33], [34]

#### 4.2. Princíp funkcie superkondenzátora

Superkondenzátor alebo aj ultrakapacitor je v princípe elektrolytický kondenzátor, ktorý je vyrobený špeciálnou technológiou, ktorá umožňuje dosiahnutie obrovskej kapacity, rádovo stoviek až tisícich faradov. Táto technológia je založená na elektrochemickej dvojvrstve, od ktorej je odvodené aj označenie superkondenzátora skratkou EDLC (Electrochemic Double Layer Capacitor). Ako pri klasických kondenzátoroch je energia v superkondenzátore uložená elektrostaticky. Princíp funkcie superkondenzátora znázorňuje (obr.25.). [37], [36]



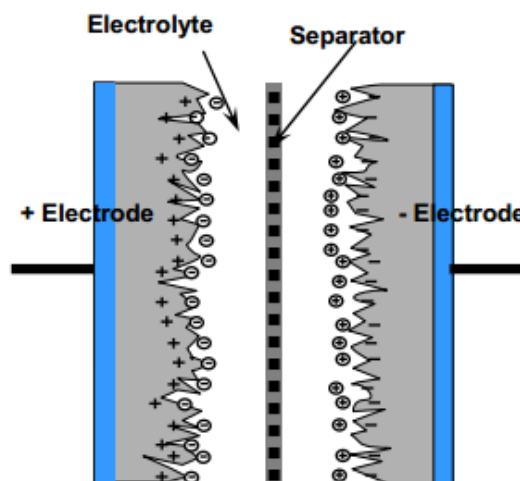
Obr. 25: Štruktúra bežného kondenzátora v ľavo a superkondenzátora v pravo [36]

Privedením vnútorného napätia dochádza k presunu kladných iónov v elektrolyte smerom k zápornej elektróde a k presunu záporných iónov ku kladnej elektróde. Vrstva aktívneho uhlíka tvorí jeden z najdôležitejších komponentov superkondenzátora. Je nanosená na vnútornej strane hliníkových elektród, ktoré sú vytvorené z hliníkovej fólie. Aktívny uhlík je tvorený veľmi malými časticami vo forme prášku. Tieto častice sa nachádzajú v celom objeme a vytvárajú veľmi pórovitý povrch, ktorého plocha je obrovská. Výrobcovia uvádzajú hodnotu až 2000 m<sup>2</sup>, na jeden gram prášku. Aktívny uhlík je tvorený uhlíkovým aerogélom. Jedná sa o pevný materiál s nízkou hustotou, ktorý vzniká nahradením tekutej zložky gélu vzduchom. Ďalším použitým materiálom sú uhlíkové polyméry. Uhlíkové nanotrúbice, ktoré sú označované ako materiál budúcnosti, majú za úlohu zväčšiť povrch častíc. Elektródy superkondenzátora oddeľuje separátor vytvorený s polypropylénovej fólie a sú obklopené elektrolytom, ktorý je tekutý, ale vo forme gélu. Hrúbka elektrickej dvojvrstvy (dielektrika) je veľmi malá, rádovo 10<sup>-10</sup> m. Kombináciou obrovskej plochy a veľmi tenkej elektrickej dvojvrstvy sa dosahuje veľká schopnosť viazať elektrický náboj a teda dosiahnuť vysokú kapacitu superkondenzátora pri malom sériovom odpore. Určitá nevýhoda, vzhľadom k vlastnostiam elektrolytu a možnému prierazu elektrickej dvojvrstvy, je malé prevádzkové napätie, ktorého hodnota sa pohybuje v rozmedzí od 2,3 V do 2,7 V, v prípade

použitia organického elektrolytu. Ak chceme dosiahnuť väčšie napätie, je nutné kondenzátory zapojiť do série, čo vyžaduje použitie ochranných balančných obvodov. [37], [36], [39]

### 4.3. Použité materiály v konštrukcii superkondenzátora

Štruktúra superkapacitora je zložená z nasledujúcich častí: kladná elektróda, záporná elektróda, dve vrstvy aktívneho uhlíka, separačná fólia a vodivý alebo gélový elektrolyt.



Obr. 26: Superkondenzátor v nabitom stave [38]

- **Elektródy** - hliníková fólia a aktívny (práškový uhlík)
- **Separátor** - polypropylénová alebo celulóзовá fólia a sklenené vlákno
- **Elektrolyt** - kvartérna soľ (tetraetylamonium tetrfluoroborat) a organické rozpúšťadlo (acetonitril)
- **Ostatné** - hliník a oceľ

**Vrstvy aktívneho uhlíka môžu byť vytvorené z nasledujúcich materiálov:**

- **Uhlíkový aerogél:** ( Carbon erogel ) aerogél je unikátny pevný materiál s nízkou hustotou, ktorý vznikne z normálneho gélu náhradou kvapálnej zložky vzduchom. Uhlíkový aerogél poskytuje extrémne veľkú povrchovú plochu okolo 400-1000 m<sup>2</sup>/g. Superkondenzátory s aerogélom v malom prevedení sú vhodné pre aplikácie so zálohovými batériami v nízkopríkonovej elektronike.
- **Uhlíkové polyméry:** polyméry vyznačujúce sa redukčno-oxidačným pamäťovým mechanizmom ( reduciton-oxidation storage machanism ) spoločne s veľkou povrchovou oblasťou.

- **Uhlíkové nanotrúbice:** sú hlavnou budúcnosťou superkondenzátorov. Uhlíkové nanotrúbice majú výbornú pórovitosť s pórmí o veľkosti niekoľko nm. Poskytujú miniatúrne priestory vo vnútri trubice, ktoré fungujú ako dielektrikum.

Elektrolyt je zmes rozpúšťadla a rozpustnej soli, ktorého funkciou je transport nabitých častí superkondenzátorom. Obecne sú pre superkondenzátory veľmi dôležité dve základné vlastnosti elektrolytu, ktorými sú potenciálové okno a odpor. Energia i výkon superkondenzátora sú priamo úmerné druhej mocnine napätia.

V superkondenzátoroch sa používajú dva základné typy elektrolytov. Vodné elektrolyty na báze kyselín alebo alkálií, majú vyššiu vodivosť a potenciálové okno okolo 1 V. Aprotické elektrolyty sú vytvorené organickými rozpúšťadlami typu propylén karbonát, ethylen karbonát, sulfolan, ethylen karbonát a soľami ako napr.  $\text{LiClO}_4$ ,  $\text{Et}_4\text{NPF}_6$ ,  $\text{BuNPF}_6$ . Výhodou elektrolytu je ich rozsah pracovného napätia až do 4V.

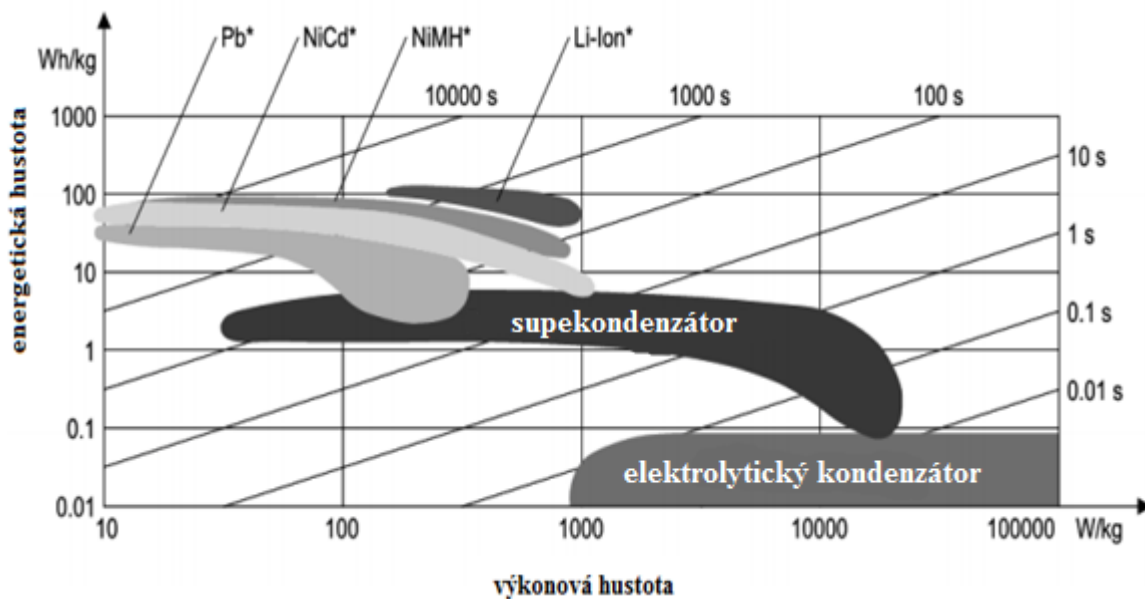
Elektrolyt v superkondenzátoroch, vyrábaných firmou Maxwell, je tvorený acetonitrilom  $\text{CH}_3\text{CN}$  ( nitril kyseliny octovej , metylkyanid ). Táto organická zlúčenina je bezfarebná kvapalina, ktorá je najjednoduchším organickým nitrilom. Preto sa nesmie superkondenzátor rozoberať, mechanicky poškodzovať, hádzať do ohňa a vystavovať teplotám väčším ako  $85^\circ\text{C}$ . [39], [35], [38]

#### 4.4. Vlastnosti a použitie superkondenzátora

Superkondenzátor sa radí vďaka svojim vlastnostiam medzi akumulátor a bežný elektrolytický kondenzátor. V porovnaní s klasickými akumulátormi má vyššiu výkonovú hustotu, (jednotky až desiatky (kW/kg) ale niekoľkokrát nižšiu energetickú hustotu. V porovnaní so štandardným elektrolytickým kondenzátorom dosahuje vysokú energetickú hustotu ( jednotky Wh/kg).

Vďaka spôsobu ukladania energie v superkondenzátore, ktorá sa uskladňuje na základe elektrostatických princípov, je možné túto energiu uložiť a spotrebovať podstatne rýchlejšie ako akumulátory, v ktorých prebieha elektrochemická premena. Taktiež vnútorný odpor superkondenzátora (ESR) je menší ako vnútorný odpor akumulátora. Vďaka týmto vlastnostiam je superkondenzátor vhodný pre krátkodobé uloženie elektrickej energie. Tieto ponúkané vlastnosti sa aplikačne využívajú hlavne v oblasti energetiky a dopravy, kde dochádza k predávaniu energie medzi vozidlom a vedením a v určitom okamihu k jej mareniu (elektrodynamické brzdenie).

Prvé použitie superkondenzátora patrí nabíjaniu robotov. Ďalšie využitie pre tento akumulačný prvok je v oblasti osobných a nákladných vozidiel, kde sa využíva ako zdroj energie pre elektrické hybridné pohony, posilovač riadenia a elektrické otváranie dverí. V roku 2005 bol použitý pre napájanie núdzového systému dverí v lietadle Airbus 380. Niektoré mestá využívajú superkondenzátory v mestskej doprave, autobusové linky sa rýchlo nabíjajú na každej zastávke a môžu pokračovať v ceste. Superkondenzátory sa používajú aj v spotrebnej elektronike ako napr. v digitálnych fotoaparátoch, notebookoch, PC, PDA a podobne. [37], [36], [39]



Obr. 27: Porovnanie rôznych zdrojov elektrickej energie s ohľadom na merný výkon a energiu [36]

#### Výhody superkondenzátora:

- možnosť veľmi častého a rýchleho nabíjania a vybíjania,
- vysoká životnosť a účinnosť,
- je vyrobený z netoxických materiálov,
- vysoká efektívnosť nabíjania,
- veľmi malý vnútorný odpor,
- vysoký merný výkon v porovnaní s akumulátormi. [37]

#### Nevýhody superkondenzátora:

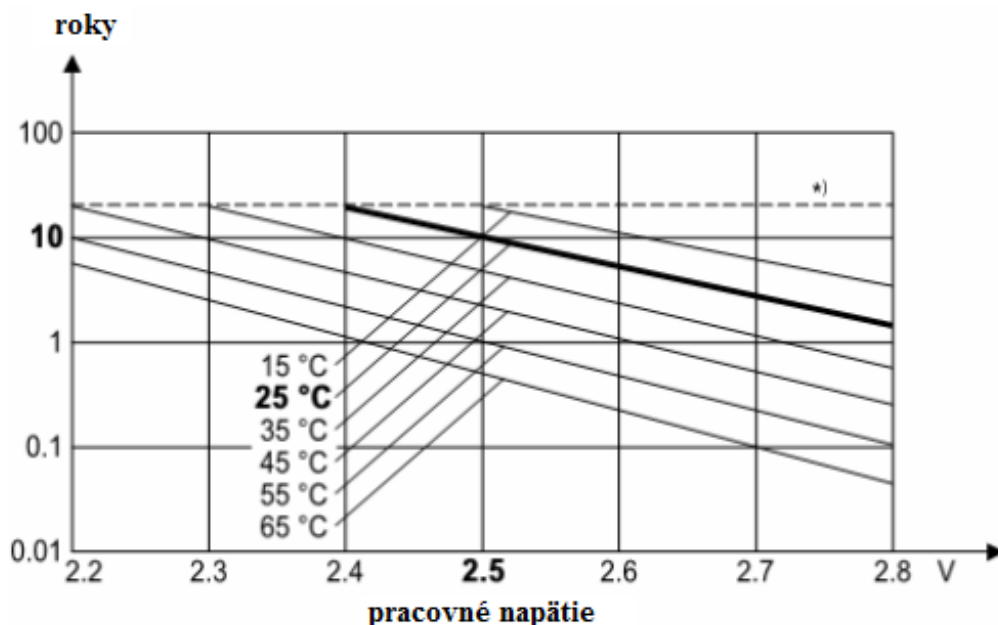
- nízky pomer uloženej energie na váhu ( 10x horší ako bežné batérie a 10 000x horší ako v porovnaní s benzínovým a plynovým pohonom ),
- závislosť napätia na množstve uloženého náboja,
- najvyššia dielektrická absorpcia zo všetkých typov kondenzátorov,
- nízke prevádzkové napätie na článok. [37]
- 

#### 4.5. Efektívnosť a životnosť superkondenzátora

Effektívnosť, s akou dochádza k ukladaniu elektrickej energie do superkondenzátora a efektívnosť jej znovuvyužitia, závisia podstatnou mierou na účinnosti prenosu výkonu medzi bodom odberu a superkondenzátorom. Väčšinou sa jedná o účinnosť zvyšovacieho alebo znižovacieho meniča,

#### 4. MOŽNOSTI VYUŽITIA SUPERKONDENZÁTORA V NÚDZOVOM OSVETLENÍ

ktorý musí byť prítomný z dôvodu stabilizácie prúdu. Ohmické straty z dôvodu krátkych vzdialeností a malých prúdov do úvahy brať nemusíme. Účinnosť samotného superkondenzátora je veľmi vysoká až 98 %.



Obr. 28: Životnosť superkondenzátora v závislosti na pracovnom napätí [36]

Životnosť superkondenzátora je v porovnaní s ostatnými konvenčnými zdrojmi, ktoré sa používajú v oblasti núdzového osvetlenia ďaleko vyššia. Výrobcovia uvádzajú až 1 milión nabíjajúcich/vybíjajúcich cyklov, pričom i po prekročení tohto limitu je superkondenzátor schopný prevádzky, ale samozrejme so zhoršenými vlastnosťami ako sú: (znížená kapacita a zvýšený vnútorný ekvivalentný sériový odpor ESR). Vplyvom cyklického nabíjania a vybíjania sa znižuje kapacita a zvyšuje sa ESR. Koniec životnosti superkondenzátora je definovaný pre pokles menovitej kapacity o 20% alebo zvýšenie ESR o 100%. Ďalším problémom, ktorý ovplyvňuje kapacitu a ESR je teplota a prevádzkové napätie. Výrobcovia udávajú životnosť superkondenzátora až 10 rokov pri prevádzkovej teplote 25°C. Každým ďalším zvýšením teploty o 10°C sa životnosť superkondenzátora znižuje približne na polovicu. pri teplote 65°C je životnosť superkondenzátora necelý rok. Degradáčny vplyv na kapacitu a životnosť má aj prevádzka s vyšším napätím ako je menovité. [36], [38]

Tieto faktory je treba brať do úvahy pri návrhu systému, pretože podstatnou mierou ovplyvňujú výslednú kapacitu a jeho životnosť. K veľkým výhodám patrí nezávislosť aktuálnej hodnoty kapacity na teplote v porovnaní s akumulátormi, ktoré sú charakteristické poklesom kapacity pri nízkych teplotách. Vnútorný odpor ESR sa so znižujúcou teplotou zvyšuje, čo je dané zníženou schopnosťou presunu iónov v elektrolyte.

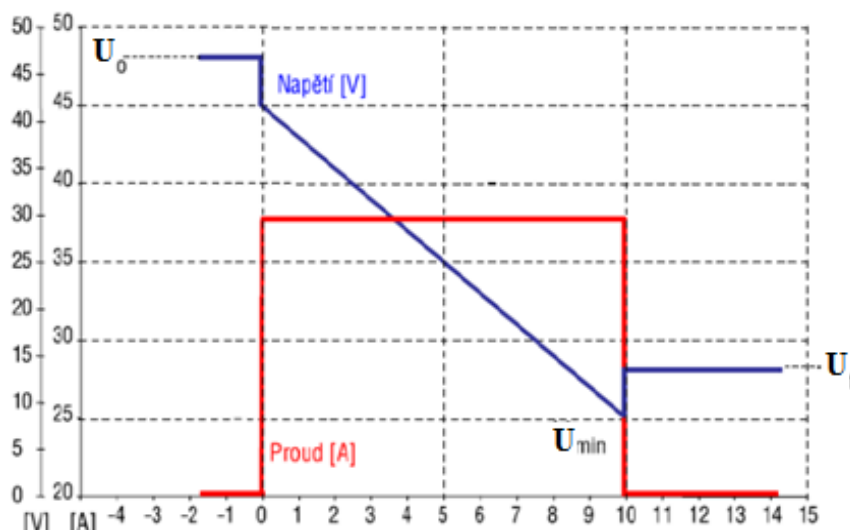
V praxi sa väčšinou superkondenzátory spájajú sériovo-paralelne do kondenzátorových batérií, z dôvodu veľmi malého napätia (cca 2,5 V). Avšak v prípade použitia superkondenzátora ako zdroja pre svetelnú LED diódu, je toto napätie postačujúce. Vďaka toleranciam vo výrobe majú kapacitory rovnakého typu rôzne parametre čo sa týka: kapacity, ESR, samovybíjací prúd.

#### 4. MOŽNOSTI VYUŽITIA SUPERKONDENZÁTORA V NÚDZOVOM OSVETLENÍ

Svetový výrobcovia superkapacitorov ( napr. Siemens, Maxwell, Epcos ) ponúkajú rôzne typy superkondenzátorových batérií. Tieto moduly sú zložené z viacerých superkondenzátorov a spôsob ich zapojenia závisí od oblasti ich použitia. Takýto modul je možné použiť pre vybavenie núdzového svietidla, ktoré je inštalované v priestoroch, kde sa požaduje dlhšia doba v svietenia v núdzovom režime. S pravidla sa jedná o zdravotnícke priestory, kde sa požaduje doba svietenia núdzového osvetlenia 3 hodiny. [36], [38], [38], [35]

#### 4.6. Možnosť využitia superkondenzátora v núdzovom autonómnom svietidle

Na základe štúdie a výpočtu, ktorý je uvedený nižšie, sa môže stať superkondenzátor svojimi parametrami adekvátnym nástupcom konvenčných batérií. Oproti batériám ponúka mnoho výhod, ktoré sa môžu využiť v oblasti núdzového osvetlenia. Veľkosť potrebnej kapacity pre napájanie núdzového osvetlenia je odvodený z vybíjacej charakteristiky superkondenzátora (obr.26.). Vybíjací priebeh je daný napäťovou a prúdovou krivkou. Hodnota vnútornej kapacity je negatívne ovplyvňovaná vnútorným ekvivalentným odporom. Pri predpoklade že svetelný zdroj bude napájaný konštantným prúdom, napätie na kondenzátore sa bude znižovať približne lineárne v závislosti na aktuálnej veľkosti odoberaného prúdu.



Obr. 29: Vybíjacia charakteristika superkondenzátora [35]

##### 4.6.1. Príklad výpočtu kapacity superkondenzátora pre 1 W LED diódu

**Pozn. :** Hodnoty pre výpočet sú získané z pracovných listov meniča a zdroja.

Minimálne pracovné napätie meniča:

$$U_{min} = 0,9 V$$

Začiatkové napätie maximálne nabitého článku:

$$U_o = 2,7 V$$

#### 4. MOŽNOSTI VYUŽITIA SUPERKONDENZÁTORA V NÚDZOVOM OSVETLENÍ

---

Dovolený pokles napätia kondenzátora:

$$\begin{aligned}\Delta U &= U_0 - U_{min} [V] \\ \Delta U &= 2,7 - 0,9 = 1,8 [V]\end{aligned}\tag{10}$$

Odoberaný konštantný výkon:

$$P_1 = 1 \text{ W}$$

Účinnosť DC/DC meniča a prúdového zdroja:

$$\eta_{DVR} = 0,8$$

Požadovaná doba svietenia:

$$t_s = 3600 \text{ s}$$

Činiteľ starnutia kondenzátora ( pokles za 10 rokov):

$$k = 0,8$$

Priemerný odoberaný prúd:

$$\begin{aligned}I_{avg} &= \frac{I_{max} + I_{min}}{2} = \frac{\frac{P_1}{U_{min} \cdot \eta_{DVR}} + \frac{P_1}{U_0 \cdot \eta_{DVR}}}{2} = [A] \\ I_{avg} &= \frac{\frac{1}{0,9 \cdot 0,8} + \frac{1}{2,7 \cdot 0,8}}{2} = 0,926\end{aligned}\tag{11}$$

Zanedbáva sa zložka úbytku napätia na vnútornom odpore. Pretože prúd bude klesať lineárne, nahradíme okamžitý prúd  $i$  prúdom priemerným  $I_{avg}$ .

$$\begin{aligned}C &= \frac{I_{avg} \cdot t}{\Delta U} [F] \\ C &= \frac{0,926 \cdot 3600}{1,8} = 1852 [F]\end{aligned}\tag{12}$$

Zohľadnenie projektovanej životnosti:

$$\begin{aligned}C_s &= \frac{C}{k} [F] \\ C_s &= \frac{1852}{0,8} = 2315 [F]\end{aligned}\tag{13}$$

Z vyššie uvedených poznatkov vyplýva, že superkondenzátor je v praxi plne použiteľný pre napájanie núdzového osvetlenia. Svietidlá napájané superkondenzátorom sa môžu použiť iba pre únikové a protipanické osvetlenie s dobou svietenia jedna hodina, pre priestory s veľkým rizikom za predpokladu že riziko netrvá dlho. Pre tento prípad plne postačuje superkondenzátor s kapacitou 2315 Faradov. V praxi sa volí superkondenzátor s najbližšou vyššou hodnotou kapacity. Použitie superkondenzátora ako zdroj energie pre svietidlá, ktoré sú inštalované v priestoroch s požadovanou dobou svietenia dlhšou ako 1 hod, (napr. zdravotnícke priestory) toto riešenie nie je vhodné, z dôvodu veľkosti potrebnej kapacity. Superkondenzátory s požadovane veľkou kapacitou sa totiž ešte nevyrábajú, jediná možnosť by bola použitie modulov, ktoré sú však nepraktické kvôli ich veľkosti a vysokej cene. Ich použitie je obmedzené iba na LED svetelné zdroje s malým



#### 4. MOŽNOSTI VYUŽITIA SUPERKONDENZÁTORA V NÚDZOVOM OSVETLENÍ

---

príkonom a dobrým využitím svetelného toku, ktoré majú zdroj energie umiestený priamo v svietidle.

Nevýhodou tohto riešenia sú vysoká zriaďovacia cena, väčšie rozmery superkondenzátora a tým pádom aj celého svietidla a nedostupnosť superkondenzátorov s vyššou kapacitou, ktoré by umožnili dlhšie svietenie.

Vysoká investičná cena je asi najväčšou prekážkou v rozvoji núdzových svietidiel ktoré sú vybavené superkondenzátorom. Ale naopak, prevádzkovateľ ušetrí na nákladoch, ktoré sa týkajú údržby sústavy núdzového osvetlenia. Ak by sa životnosť projektovala na 12 rokov oproti bežným štvorročným batériám, bude úspora ešte väčšia, pretože batérie sa za 12 rokov budú musieť tri razy meniť. Tak isto treba to tohto finančného porovnania zaradiť aj cenu práca, ktorá sa každým rokom zvyšuje naproti predpokladu, že cena superkondenzátorov bude klesať. [35], [38], [39]

## 5. Hodnotenie vlastností autonómneho núdzového svietidla

Pre objektívne posúdenie výhod a nevýhod núdzového svietidla napájaného superkondenzátorom bolo zrealizovaných niekoľko meraní, na základe ktorých je možné posúdiť prínos a efektivitu daného svietidla. Svietidlo je vybavené výkonovou LED diódou s príkonom 1 W, ktorá vykazuje pomerne veľký merný výkon, v priemere až 125 lm/W a teplotou chromatičnosti 6000 K. Prototyp svietidla je napájaný superkondenzátorom s kapacitou 3000 F, s pracovným výstupným napätím 2,7 V. Veľkosť a druh superkondenzátora je možné meniť na základe požiadaviek, ktoré vyplývajú z konkrétneho spôsobu použitia a typu objektu.

### 5.1. Samovybíjanie superkondenzátora

Samovybíjanie je jav prejavujúci sa stratovým vybíjaním zdroja elektrickej energie i za podmienok, že ku zdroju nie je pripojená žiadna záťaž. Tento proces negatívne ovplyvňuje ako životnosť superkondenzátora tak aj životnosť všetkých ďalších konvenčných akumulátorov. Rýchlosť samovybíjania závisí predovšetkým na type použitého elektrolytu, stave aktuálneho nabitia, veľkosti nabíjacieho prúdu, okolitej teplote a ďalších fyzikálne-chemických faktoroch.

Rýchlym samovybíjaním sú charakteristické klasické elektrolytické kondenzátory, a preto je snahou výrobcov superkondenzátorov čo najviac obmedziť tento stratový jav. V súčasnej dobe technologické postupy vo výrobe superkondenzátorov proces samovybíjania ešte nevyriešili.

Pri meraní priebehu samovybíjacej charakteristiky boli použité tri druhy superkondenzátorov s rôznymi kapacitami (1200F, 2000F, 3000F). Dané superkondenzátory boli nabité pomocou zdroja VOLTcraft VSP 1410 prúdom o veľkosti 10 A na hodnotu 2,7 V. Priebeh samovybíjania superkondenzátorov bol zaznamenávaný pri štyroch rôznych teplotách (-15°C, 0°C, 23°C, 50°C). Pre dosiahnutie požadovanej teploty prostredia bola použitá klimatická komora. V tabuľke (tab. 6.), sú uvedené hodnoty energií pri plnom nabití superkondenzátorov na pracovné napätie 2,7 V. Hodnoty energie sú pre porovnanie uvedené v jouloch aj vo watthodinách.

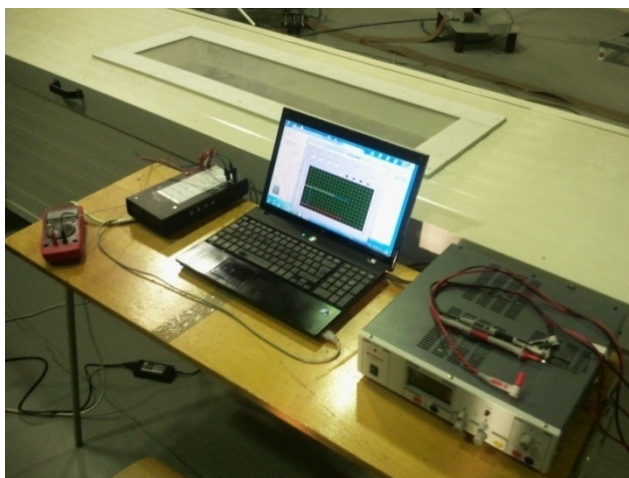
Tab. 6: Veľkosť energie pri rôznych kapacitách superkondenzátorov

energia plne nabitého superkondenzátora		
superkapacitor	energia [J]	energia [Wh]
3000 F	10935	3,04
2000 F	7290	2,03
1200 F	4374	1,22

Pri samovybíjaní bolo monitorované napätie na superkondenzátore, ktoré postupne exponenciálne klesalo. Napätie bolo zaznamenávané pomocou špeciálnej meracej karty s upraveným vstupom pre malé napätie. Namerané hodnoty boli spracované počítačom v programe Excel. Aby bolo možné sledovať aj priebeh klesania energie superkondenzátora, v programe Excel

## 5. HODNOTENIE VLASTNOSTÍ AUTONÓMNEHO NÚDZOVÉHO SVIETIDLA

sa urobil prepočet napätia na energiu. Grafy uvedené nižšie, zobrazujú časový priebeh napätia a energie na superkondenzátore. Obidve charakteristiky klesajú s narastajúcim časom samovybíjania. Priebeh napätia a energie bol monitorovaný po dobu 1 hodiny.



**Obr. 30:** Pracovisko pre meranie priebehu samovybíjania a doby svietenia

Vzťahy pre výpočet poklesu napätia a energie pri samovybíjaní za jednu hodinu v [%].

$$\Delta U_K = \frac{U_0 - U_2}{U_2} \cdot 100\% \quad (14)$$

$$\Delta W = \frac{U_0^2 - U_2^2}{U_1^2} \cdot 100\% \quad (15)$$

$U_0$  - začiatkové napätie maximálne nabitého superkondenzátora

$U_2$  - napätie na superkondenzátore po uplynutí 1 hodiny

- **Superkondenzátor 3000 F**

Začiatkové napätie maximálne nabitého superkondenzátora:

$$U_0 = 2,7 \text{ V}$$

Napätie na superkondenzátore po uplynutí 1 hodiny (pre teplotu  $-15^\circ\text{C}$ ):

$$U_{2(-15^\circ\text{C})} = 2,674 \text{ V}$$

**Príklad výpočtu podľa vzťahov (14) a (15):**

$$\Delta U_K = \frac{2,7 - 2,674}{2,7} \cdot 100\% = 0,96 \%$$

$$\Delta W = \frac{2,7^2 - 2,674^2}{2,7^2} \cdot 100\% = 1,92 \%$$

## 5. HODNOTENIE VLASTNOSTÍ AUTONÓMNEHO NÚDZOVÉHO SVIETIDLA

Uvedené výpočty sú rovnaké pre všetky typy superkondenzátorov s tým rozdielom, že hodnota napätia po uplynutí jednej hodiny je rôzna, v závislosti na teplote prostredia. Vypočítané hodnoty sú zobrazené vždy v príslušnej tabuľke pre daný superkondenzátor.

**Tab. 7:** Percentuálny pokles napätia a energie pre superkondenzátor 3000 F pri rôznych teplotách

Teplota	Pokles napätia	Pokles energie
-15°C	0,96 %	1,92 %
0°C	0,44 %	0,89 %
23°C	3,15 %	6,20 %
50°C	9,78 %	18,66 %

- **Superkondenzátor 2000 F**

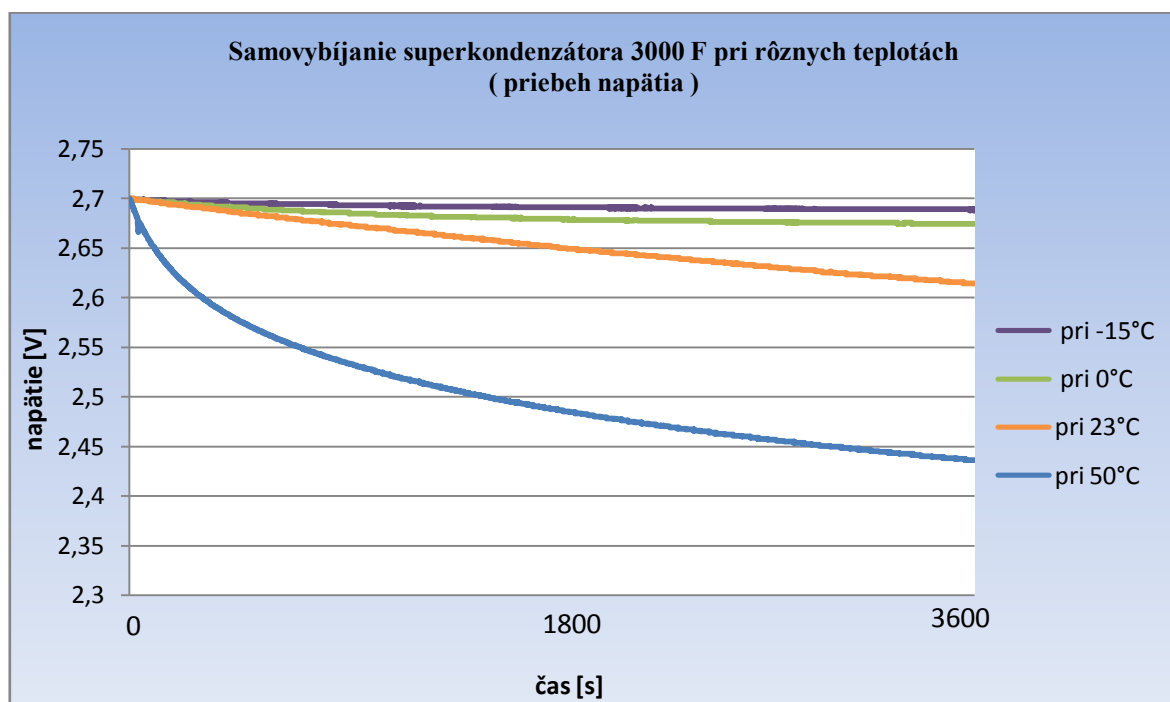
**Tab. 8:** Percentuálny pokles napätia a energie pre superkondenzátor 2000 F

Teplota	Pokles napätia	Pokles energie
-15°C	1,63 %	3,23 %
0°C	1,81 %	3,59 %
23°C	9,93 %	18,87 %
50°C	10,67 %	20,19 %

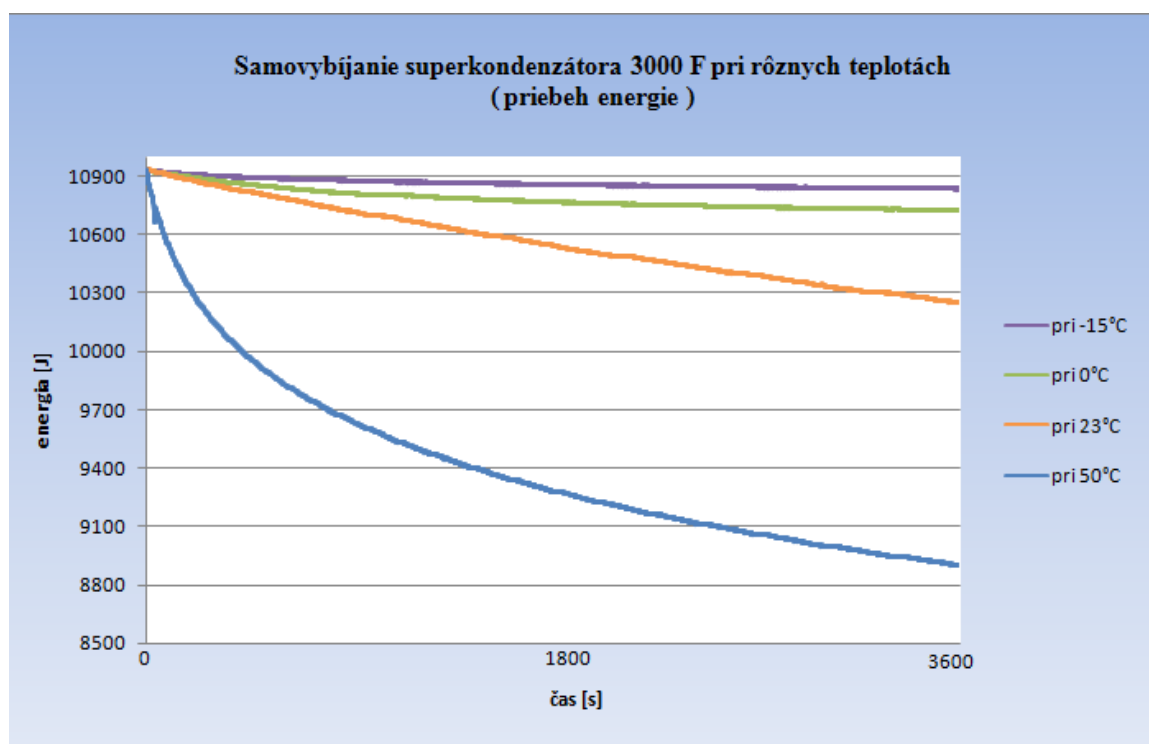
- **Superkondenzátor 1200 F**

**Tab. 9:** Percentuálny pokles napätia a energie pre superkondenzátor 1200 F

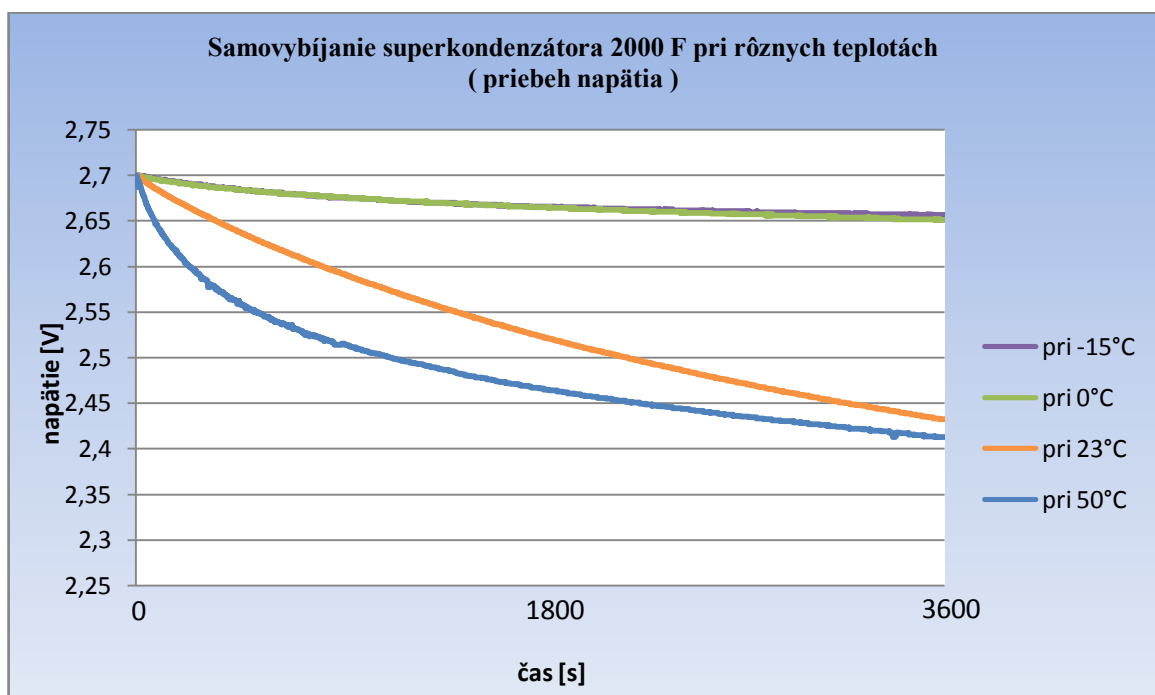
Teplota	Pokles napätia	Pokles energie
-15°C	1,00 %	1,99 %
0°C	0,93 %	1,84 %
23°C	10,74 %	20,33 %
50°C	11,96 %	22,49 %



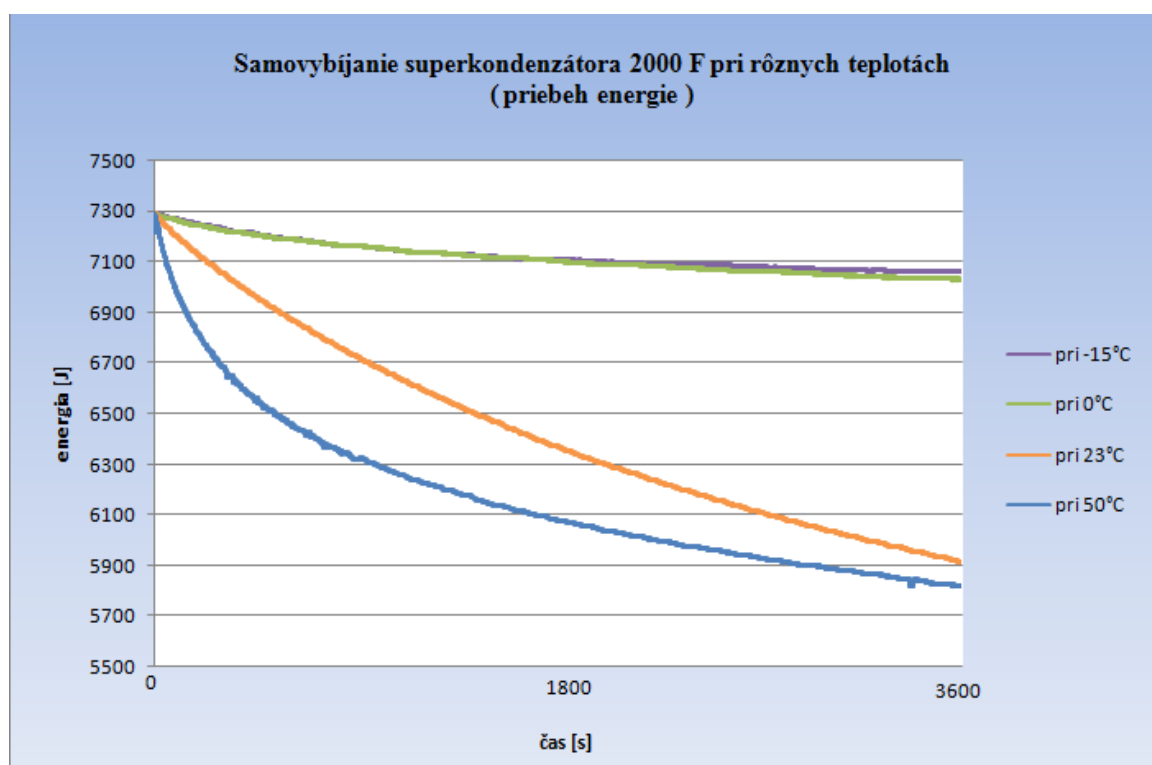
**Obr. 31:** Graf priebehu napätia počas samovybíjania pre superkondenzátor 3000 F



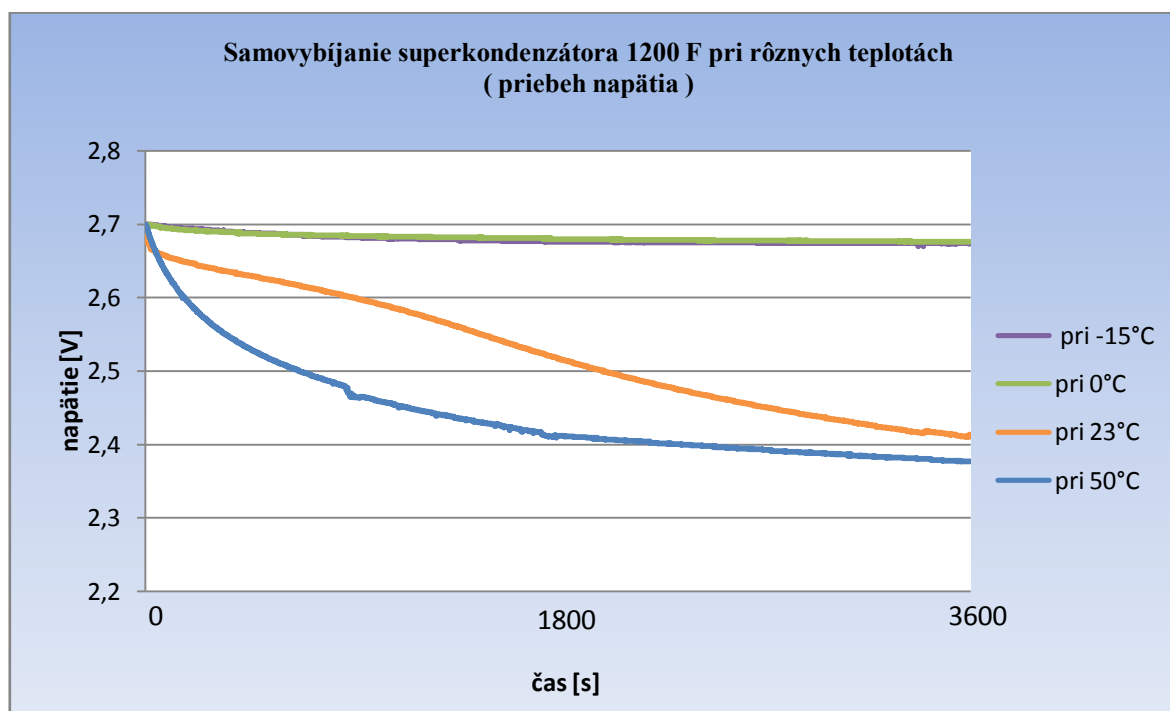
**Obr. 32:** Graf priebehu energie počas samovybíjania pre superkondenzátor 3000 F



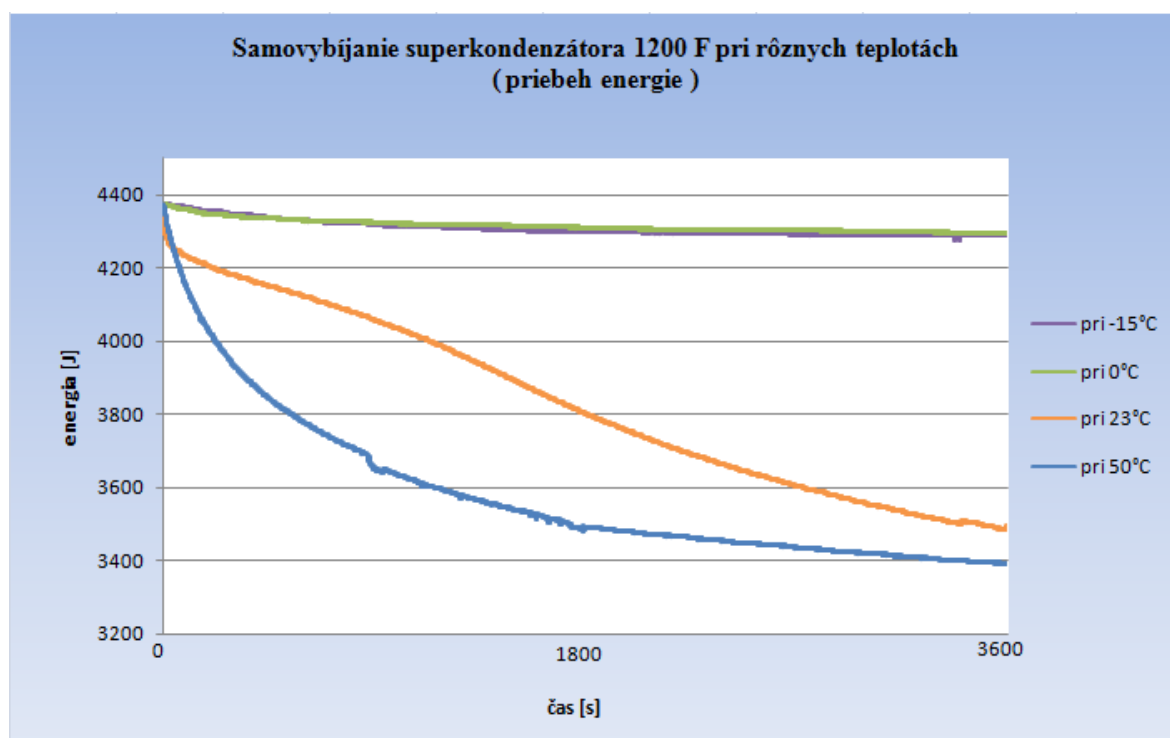
**Obr. 33:** Graf priebehu napätia počas samovybíjania pre superkondenzátor 2000 F



**Obr. 34:** Graf priebehu energie počas samovybíjania pre superkondenzátor 2000 F



**Obr. 35:** Graf priebehu napätia počas samovybíjania pre superkondenzátor 1200 F



**Obr. 36:** Graf priebehu energie počas samovybíjania pre superkondenzátor 1200 F

Z vyššie uvedených grafov je zrejmé, že teplota zohráva významnú úlohu pri procese samovybíjania. Všeobecne platí, že čím nižšia je pracovná alebo skladovacia teplota, tým je priebeh úbytku napätia v závislosti na teplote pozvoľnejší. Všetky krivky majú exponenciálny charakter s najvýraznejším poklesom v prvých fázach samovybíjania.

Vyššie pracovné teploty majú za následok rýchlejší priebeh samovybíjania. V tabuľkách pod grafmi sú uvedené percentuálne poklesy napätí a energií za jednu hodinu. Núdzového svietidla je napájané elektrickou energiou nepretržite pomocou elektrických obvodov a núdzový režim sa aktivuje až pri výpadku normálneho osvetlenia. To znamená, že svietidlo je vždy v stave maximálneho nabitia, pretože elektrické obvody pri väčšom poklese napätia automaticky začnú dobíjať superkondenzátor. Elektronické obvody sú schopné takisto automaticky vypnúť nabíjanie superkondenzátora pri dosiahnutí menovitého limitného nabitia charakterizovaného pracovným výstupným napätím 2,7 V. Prekročenie tejto hodnoty má totiž razantný vplyv na funkčnosť superkondenzátora a dokonca pri jej výraznejšom prekročení hrozí až explózia superkondenzátora.

### 5.2. Doba svietenia núdzového svietidla

Pri meraní maximálnej doby svietenia pre jednotlivé teploty bol ako zdroj energie pre núdzové svietidlo použitý superkondenzátor s hodnotou 2000 F. Kondenzátor bol nabitý pomocou externého zdroja VOLTcraft VSP 1410 na výstupné pracovné napätie 2,7 V. Nabíjanie pomocou nabíjačky nebolo použité z dôvodu menšieho výstupného prúdu a tým spojeným dlhším nabíjacím časom superkondenzátora. Zaznamenávané boli dve hodnoty napätia a to napätie na superkondenzátore a napätie na LED dióde. Integrovaný obvod automaticky riadi a reguluje výstupné napätie a prúd pomocou externých súčiastok. Z dôvodu, že napätie na superkondenzátore v priebehu vybíjania klesá od maximálnej hodnoty (2,7 V) k nule, sa v elektrickom obvode použil DC/DC konvertor, ktorého úlohou je napätie alebo prúd stabilizovať na konštantnú výstupnú hodnotu s najvyššou účinnosťou prenosu energie.

Veľkosti prúdu na LED dióde a superkondenzátore neboli merané z dôvodu úbytkov napätia, ktoré vznikali na meracích bočníkoch, kontaktoch a kabeláži. Úbytok napätia nepriaznivo ovplyvňuje dĺžku svietenia svietidla ale v konečnom dôsledku prakticky neovplyvňuje funkčnosť svietidla.

Konštantný výstupný prúd z DC/DC konvertora zabezpečuje konštantné vyžarovanie svetelného toku LED diódou. Ak je DC/DC konvertor riadený konštantným výstupným napätím, prúd, ktorý prechádza LED diódou môže spôsobovať zahrievanie PN prechodu. Tento jav je zrejmý aj z voltampérovej charakteristiky LED diódy. LED dióda je najefektívnejšie napájaná pomocou LED driveru LTC3490. LED driver dodáva dióde konštantný prúd pri znižujúcom sa napätí na superkondenzátore až do limitnej hodnoty, ktorá LED driver vypne. Limitná nameraná hodnota napätia, pri ktorej sa LED driver vypne, bola pre jednotlivé teploty približne rovnaká a pohybovala sa v rozmedzí 0,608 V pre -15°C až po hodnotu 0,664 V pre 50°C. Pri vypnutí LED driveru výkonová dióda prestáva vyžarovať do priestoru svetelný tok.



## 5. HODNOTENIE VLASTNOSTÍ AUTONÓMNEHO NÚDZOVÉHO SVIETIDLA

• Pracovné napätie superkondenzátora	2,7 V
• Kapacita superkondenzátora	2000 F
• Príkonná LED dióda	1 W
• Priemerná účinnosť LED driveru	80 %

**Výpočet celkovej energie uloženej v superkondenzátore:**

$$W_{sup} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_0^2 [J] \quad (16)$$

$$W_{sup} = \frac{1}{2} \cdot 2000 \cdot 2,7^2 = 7290 [J]$$

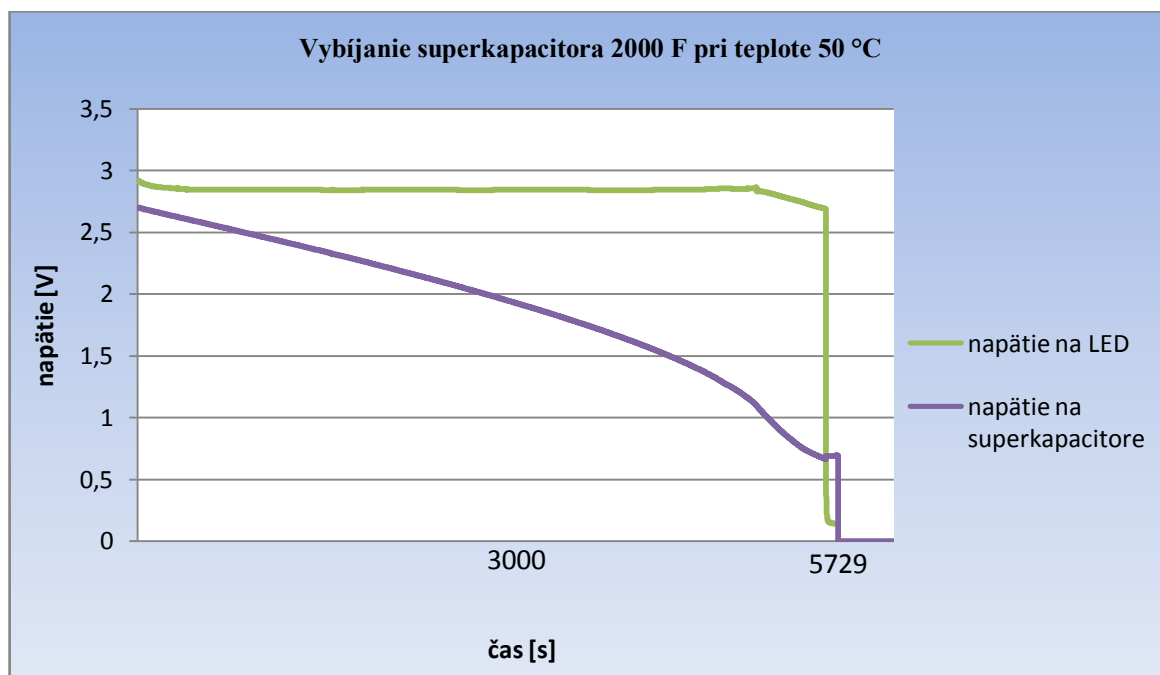
**Teoretická doba svietenia LED diódy:**

$$t_{(s)} = W_{sup} \cdot \frac{\eta_{LDV}}{P} [s] \quad (17)$$

$$t_{(s)} = 7290 \cdot \frac{0,8}{1} = 5832 [s]$$

$$t_{(min)} = \frac{t_{(s)}}{60} [min] \quad (18)$$

$$t_{(min)} = \frac{5832}{60} = 97,2 [min]$$



**Obr. 37:** Graf priebehu napätia na superkondenzátore a na LED dióde pri meraní maximálnej doby svietenia

## 5. HODNOTENIE VLASTNOSTÍ AUTONÓMNEHO NÚDZOVÉHO SVIETIDLA

Nameraná doba svietenia LED diódy :

$$t_{50^{\circ}\text{C}} = 5729 \text{ s}$$

Limitná hodnota napätia:

$$U_{L50^{\circ}\text{C}} = 0,664 \text{ V}$$

Nevyužitá energia superkondenzátora:

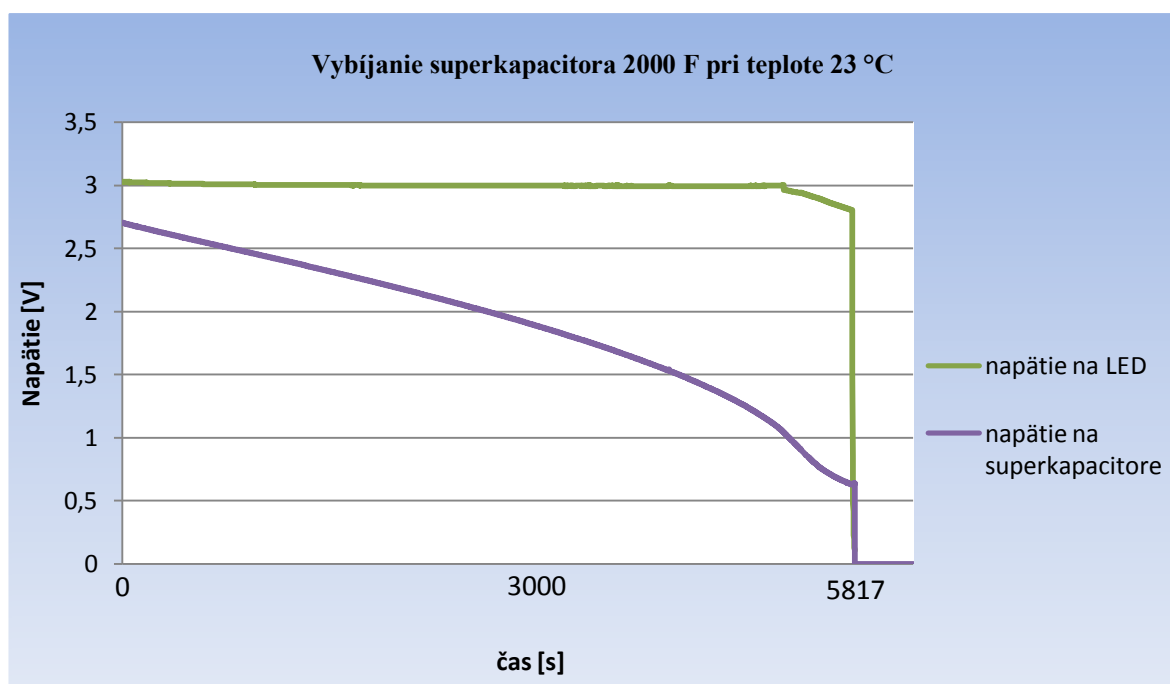
$$W_{50^{\circ}\text{C}} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_{L50^{\circ}\text{C}}^2 \text{ [J]} \quad (19)$$

$$W_{50^{\circ}\text{C}} = \frac{1}{2} \cdot 2000 \cdot 0,664^2 = 440,9 \text{ [J]}$$

Nevyužitá energia superkondenzátora v percentách:

$$W_{\%(50^{\circ}\text{C})} = \frac{W_{50^{\circ}\text{C}}}{W_{\text{sup}}} \cdot 100\% \text{ [%]} \quad (20)$$

$$W_{\%(50^{\circ}\text{C})} = \frac{440,9}{7290} \cdot 100\% = 6,1 \text{ [%]}$$



**Obr. 38:** Graf priebehu napätia na superkondenzátore a na LED dióde pri meraní maximálnej doby svietenia

Nameraná doba svietenia LED diódy:

$$t_{23^{\circ}\text{C}} = 5817 \text{ s}$$

Limitná hodnota napätia:

$$U_{L23^{\circ}\text{C}} = 0,626 \text{ V}$$

Nevyužitá energia superkondenzátora:

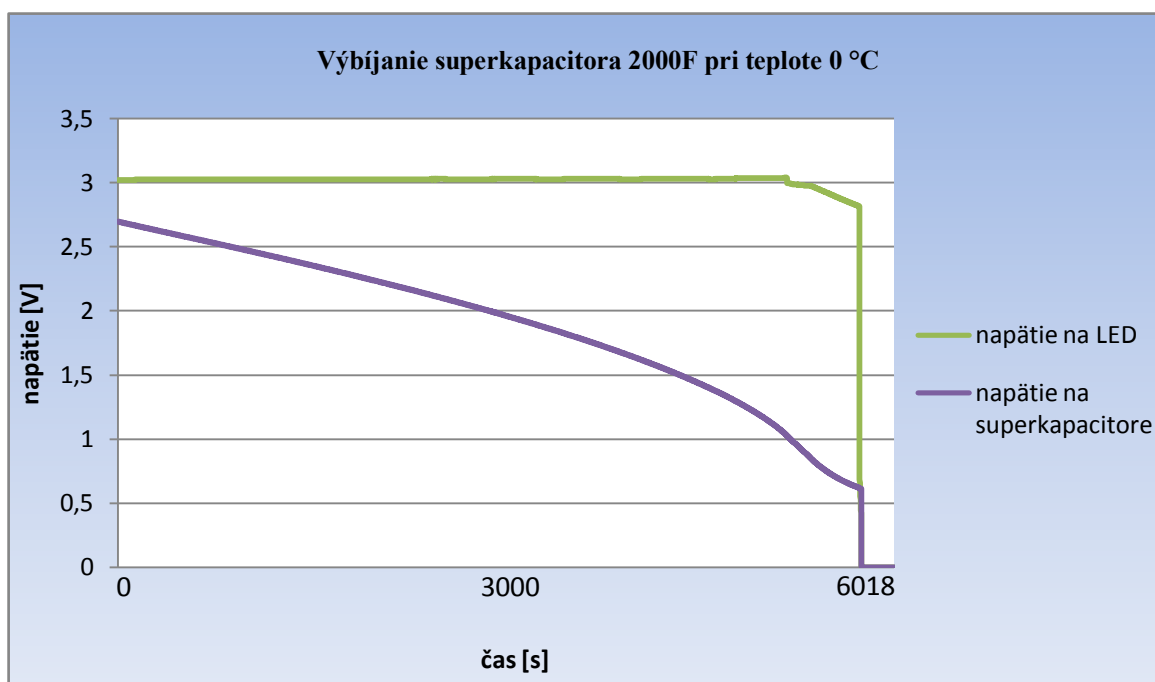
$$W_{23^{\circ}\text{C}} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_{L23^{\circ}\text{C}}^2 [J] \quad (21)$$

$$W_{23^{\circ}\text{C}} = \frac{1}{2} \cdot 2000 \cdot 0,626^2 = 391,9 [J]$$

Nevyužitá energia superkondenzátora v percentách:

$$W_{\%(23^{\circ}\text{C})} = \frac{W_{23^{\circ}\text{C}}}{W_{\text{sup}}} \cdot 100\% [\%] \quad (22)$$

$$W_{\%(23^{\circ}\text{C})} = \frac{391,9}{7290} \cdot 100\% = 5,4 [\%]$$



**Obr. 39:** Graf priebehu napätia na superkondenzátore a na LED dióde pri meraní maximálnej doby svietenia

Nameraná doba svietenia LED diódy :

$$t_{0^{\circ}\text{C}} = 6018 \text{ s}$$

Limitná hodnota napätia:

$$U_{L0^{\circ}\text{C}} = 0,622 \text{ V}$$

Nevyužitá energia superkondenzátora:

$$W_{0^{\circ}\text{C}} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_{L0^{\circ}\text{C}}^2 [J] \quad (23)$$

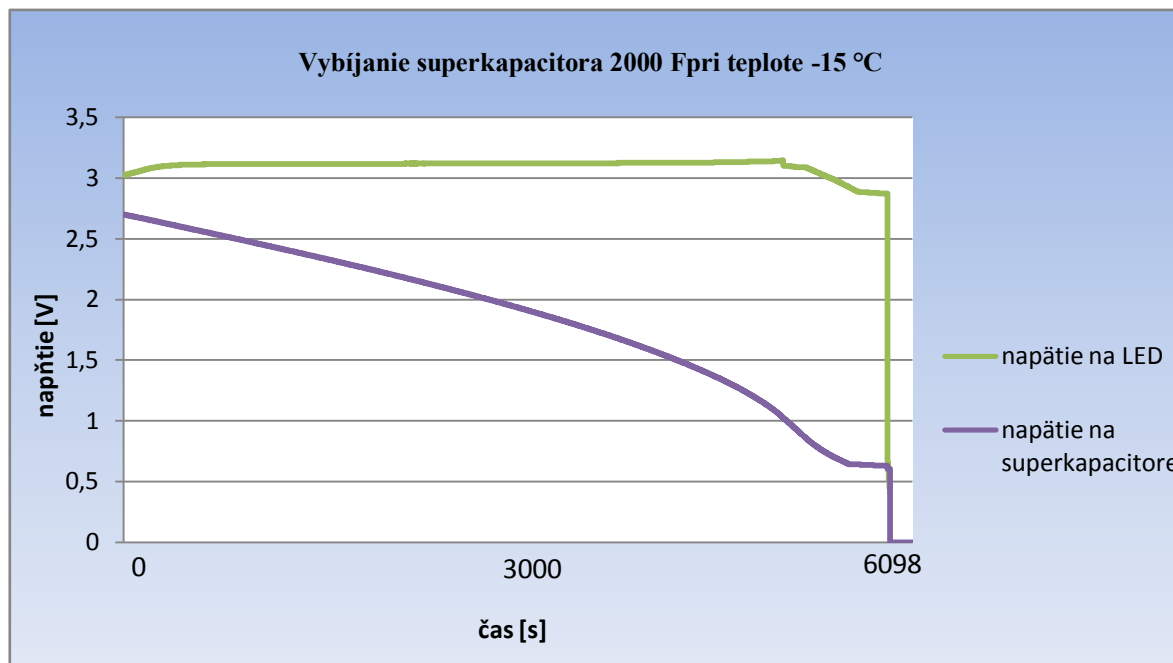
$$W_{0^{\circ}\text{C}} = \frac{1}{2} \cdot 2000 \cdot 0,622^2 = 386,9 [J]$$

## 5. HODNOTENIE VLASTNOSTÍ AUTONÓMNEHO NÚDZOVÉHO SVIETIDLA

Nevyužitá energia superkondenzátora v percentách:

$$W_{\%(0^{\circ}\text{C})} = \frac{W_{0^{\circ}\text{C}}}{W_{\text{sup}}} \cdot 100\% \quad [\%] \quad (24)$$

$$W_{\%(0^{\circ}\text{C})} = \frac{386,9}{7290} \cdot 100\% = 5,3 \quad [\%]$$



**Obr. 40:** Graf priebehu napätia na superkondenzátore a na LED dióde pri meraní maximálnej doby svietenia

Nameraná doba svietenia LED diódy :

$$t_{-15^{\circ}\text{C}} = 6098 \text{ s}$$

Limitná hodnota napätia:

$$U_{L-15^{\circ}\text{C}} = 0,608 \text{ V}$$

Nevyužitá energia superkondenzátora:

$$W_{-15^{\circ}\text{C}} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_{L-15^{\circ}\text{C}}^2 \quad [\text{J}] \quad (25)$$

$$W_{0^{\circ}\text{C}} = \frac{1}{2} \cdot 2000 \cdot 0,608^2 = 369,66 \quad [\text{J}]$$

Nevyužitá energia superkondenzátora v percentách:

$$W_{\%(0^{\circ}\text{C})} = \frac{W_{0^{\circ}\text{C}}}{W_{\text{sup}}} \cdot 100\% \quad [\%] \quad (26)$$

$$W_{\%(0^{\circ}\text{C})} = \frac{369,66}{7290} \cdot 100\% = 5,07 \quad [\%]$$

Zmeraním vybíjacieho procesu superkondenzátora s kapacitou 2000 F a s maximálnym pracovným napätím 2,7 V sa dokázalo, že poskytuje dostatok energie pre napájanie núdzového osvetlenia počas jednej hodiny. Táto podmienka je splnená pri zapojení jedného superkondenzátora, ktorý napája výkonovú LED diódu s elektrickým príkonom 1 W. Merania boli uskutočnené pri rôznych teplotách, ktoré sa dosiahli použitím klimatickej komory, takže teplota okolia bola konštantná počas celej doby merania. Takisto monitorovaný superkondenzátor bol zakaždým nabitý na rovnakú hladinu napätia 2,7 V. Maximálna možná naakumulovaná energia v superkapacitore 2000 F je 7290 J. Použitie LED diódy s väčším príkonom značne ovplyvní finančnú náročnosť návrhu, pretože pre zabezpečenie potrebnej energie by bolo nutné použiť zapojenie minimálne dvoch superkondenzátorov.

Z hore uvedených grafov je zrejmé, že vybíjacia charakteristika má exponenciálny charakter. Z maximálnej hodnoty napätia 2,7 V, v priebehu cca 100 minút napätie pokleslo na hodnotu limitného napätia, ktorá je rôzna pre jednotlivé teploty. Z grafov je zrejmé, že po určitom čase krivka napätia na LED dióde začne strmo klesať z menovitej hodnoty cca 3 V. Tento jav pochopiteľne ovplyvňuje aj svetelný tok svietidla, ktorý postupne klesá. To má za následok zníženie aktívnej doby svietenia, pretože svietidlo pri tomto poklese prestane spĺňať požiadavky dané normou ČSN EN 1838.

Teoretickým výpočtom bola stanovená teoretická doba svietenia núdzového svietidla pri napájaní superkondenzátorom s hodnotou 2000 F na hodnotu 5832 sekúnd. Namerané hodnoty pri jednotlivých teplotách sa od vypočítanej hodnoty nepatrne líšili a to približne o  $\pm 4\%$ . Najvyšší čas 6098 sekúnd bol dosiahnutý pri najnižšej teplote  $-15^{\circ}\text{C}$  a najnižší čas 5729 sekúnd pri najvyššej teplote  $+50^{\circ}\text{C}$ . Vplyvom teploty sa zároveň s dobou svietenia menila aj limitná hodnota napätia pri ktorej LED driver prestal napájať diódu.

### 5.3. Meranie svetelných parametrov bezpečnostnej únikovej značky

Pre meranie svetelných parametrov bola použitá núdzová bezpečnostná tabuľka s vnútorným osvetlením typu: J-ET/9/24SV od firmy INOTEC s krytím IP65. Toto svietidlo je vybavené štyrmi LED diódami, každá o výkone 1 W a celkový maximálny príkon s elektronickým obvodom môže dosiahnuť hodnotu až 4,8 W. Svietidlo sa pripája na sieťové napätie, ktoré je usmerňovačom stabilizované na 12 V. Na usmerňovači je možné prepnúť svietidlo z režimu maximálneho výkonu do režimu s možnosťou stmievania. Fotodokumentácia únikovej tabuľky sa nachádza v prílohe IV.



Obr. 41: Úniková bezpečnostná tabuľka

### 5.3.1. Meranie jasů

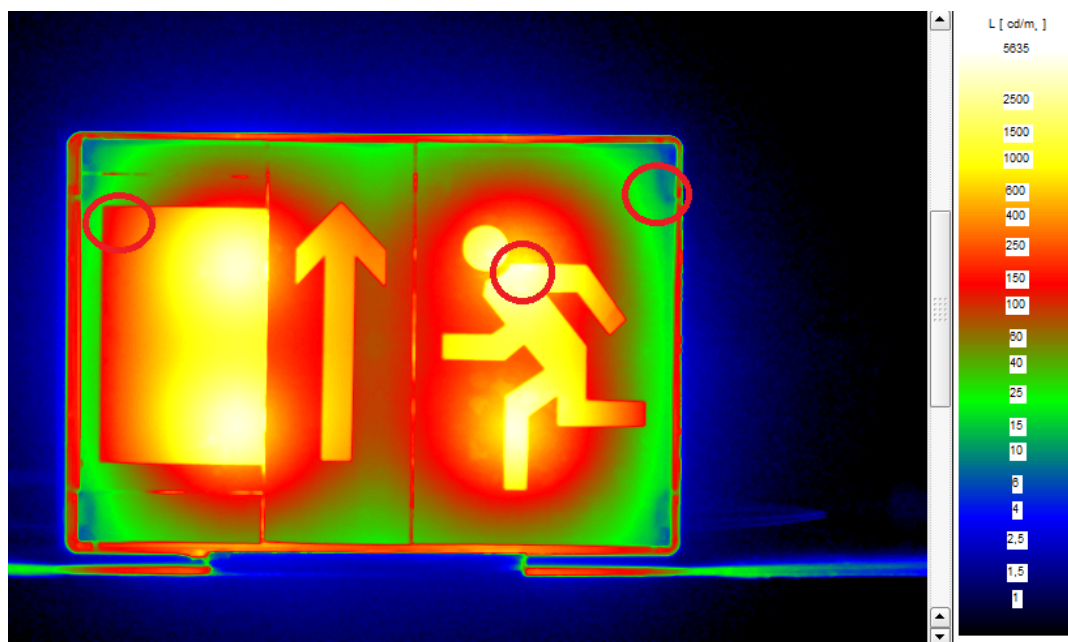
Jas bezpečnostnej tabuľky sa meria pre každú farbu kolmo k jej povrchu v miestach, ktoré majú priemer väčší ako 10 mm. Minimálny a maximálny jas sa meria v rozsahu plochy každej farby. Pri farebnom pozadí sa z merania vyníma vonkajší okraj so šírkou 10 mm. Pre určenie pomeru jasů medzi dvoma priľahlými farbami sa jas meria vo vzdialenosti 15 mm na každej strane styku dvoch farieb a maximálne a minimálne pomery jasů sa vyhľadajú. V prípade ak je farebná plocha menšia ako 30 mm, veľkosť kontrolného miesta sa zmenší. Na meranie jasů bezpečnostnej tabuľky bol použitý jasový analyzátor LMK MOBILE ADVANCED. Namerané dáta boli spracované v programe Lmk Soft. Prístroj pre meranie jasů musí byť kalibrovaný pre meranie fotopického (denného) jasů (normálny kolorimetrický pozorovateľ CIE 2°).

**Merací prístroj musí spĺňovať nasledujúce parametre:**

- Spektrálna chyba:  $f_1' \leq 3\%$  ( $f_1'$  je definovaný v CIE 69),
- Rozsah jasů: 0,01 cd/m<sup>2</sup> až 15 000 cd/m<sup>2</sup>,
- Opakovateľnosť jasů: 0,01 cd/m<sup>2</sup>. [44]

Jasový analyzátor LMK MOBILE ADVANCED, ktorý bol použitý pre vykonanie jasovej analýzy bezpečnostnej značky všetky hore uvedené požiadavky spĺňa.

Pre hľadanie miesta s maximálnym a minimálnym jasom bol použitý program Lmk Soft. Aplikáciou jasových filtrov sa v programe našli miesta s najnižším a najvyšším jasom. Najvyšší jas pre bielu a zelenú bezpečnostnú farbu sa nachádza v mieste symbolu chodca (obr. 43). Miesto s najnižším jasom pre bielu farbu sa nachádza vľavo hore (obr. 44 vľavo) a pre zelenú farbu vpravo hore (obr. 44 vpravo). Namerané hodnoty sú zobrazené v tabuľke (tab. 10).



Obr. 42: Označenie miest s najvyšším a najnižším jasom

Pomocou programu Lmk Soft nie je možné určiť strednú hodnotu jasú kontrastnej bielej farby, preto táto hodnota bola odhadnutá z obrázku (obr. 42.). Na základe merítka jasú zobrazeného v pravej časti obrázka bola stredná hodnota jasú kontrastnej bielej farby odhadnutá na hodnotu 800  $\text{cd/m}^2$ .

#### Stredný jas kontrastnej bielej farby:

$$L_{str} = 800 \text{ cd/m}^2$$

Podľa tabuľky (tab.2.) pre hodnotu stredného jasú bielej farby ktorá je väčšia alebo rovná ako 500  $\text{cd/m}^2$  je veľkosť činiteľa vzdialenosti pre značky núdzových východov s vnútorným osvetlením rovná hodnote 230.

Tab. 10: Namerané hodnoty jasú pre zelenú a bielu farbu

	veľkosť jasú [ $\text{cd/m}^2$ ]	
farba	najvyššia	najnižšia
zelená	897,7	12,5
biela	5635	127,4

Norma ČSN EN 1838 požaduje aby pomer medzi maximálnou a minimálnou hodnotou jasú pre bielu a zelenú nebol väčší ako 10:1 čo v tomto prípade, ako je zrejmé z výpočtu ktorý je uvedený nižšie splnené nie je. Vypočítané kontrasty ďaleko prevyšujú požiadavku kladenú normou

## 5. HODNOTENIE VLASTNOSTÍ AUTONÓMNEHO NÚDZOVÉHO SVIETIDLA

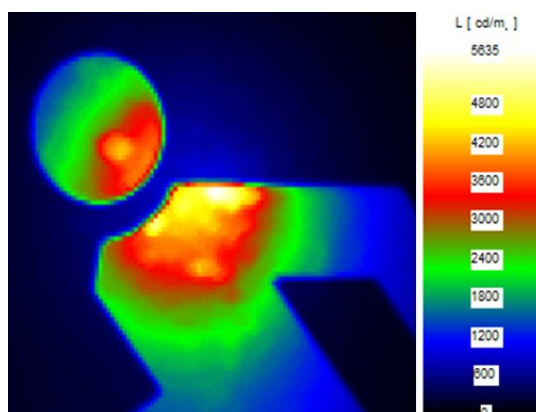
a to v prípade bielej farby štvornásobne a v prípade zelenej farby až sedemnásobne. Vysoké kontrasty sú spôsobené umiestnením LED diód, ktoré vyžarujú svetelný tok priamo na povrch bezpečnostnej tabuľky, ktorá je z priehľadného materiálu, takže svetlo nedokáže rovnomerne rozptýliť. Použitím vhodného difúzneho materiálu, ktorý by vyžarované svetlo rozptýlil rovnomerne na celú plochu krytu alebo použitím iného druhu bezpečnostnej značky, by kontrasty mali vyhovovať ľ požiadavkám normy.

Bezpečnostná tabuľka je pôvodne navrhnutá na žiarivkové svetelné zdroje, ktoré poskytujú rovnomernejšie rozloženie jasů na jej povrchu. Pri použití žiarivky ako svetelného zdroja bezpečnostná tabuľka plne spĺňa požiadavky normy a je možné ju použiť v objektoch ako núdzové značenie.

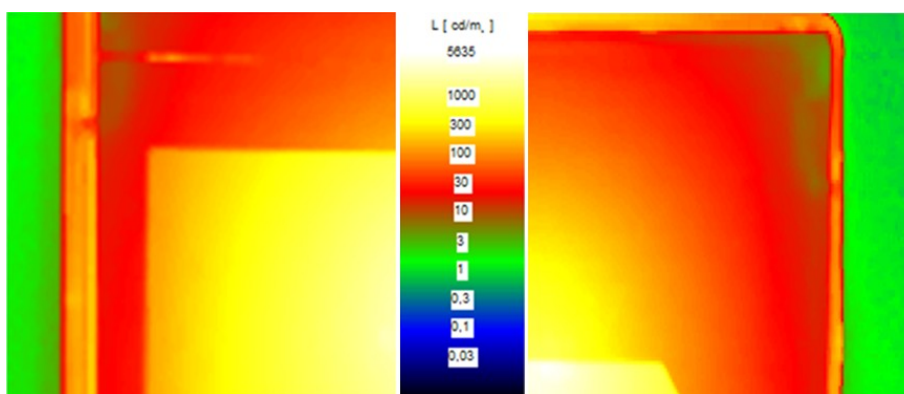
Výpočet pomeru jasů pre zelenú a bielu farbu podľa vzťahu (9):

$$k_{biela} = \frac{5635}{127,4} = 44$$

$$k_{zelená} = \frac{897,7}{12,5} = 71,8$$



Obr. 43: Detail miesta s maximálnou hodnotou jasů



Obr. 44: Detaily miest s minimálnou hodnotou jasů



**Posúdenie možnosti použitia superkondenzátora ako zdroja energie pre bezpečnostnú tabuľku:**

- Výpočet príkonu bezpečnostnej tabuľky

Namerané napájacie napätie LED diód:

$$U_n = 11.85 \text{ V}$$

Prúd tečúci LED diódami:

$$I_{LED} = 320 \text{ mA}$$

Účinnosť predradníka bezpečnostnej tabuľky:

$$\eta_{tab} = 0,8$$

Príkon LED diód:

$$P_{LED} = U_n \cdot I_{LED} \text{ [W]} \quad (27)$$

$$P_{LED} = 11,85 \cdot 0,32 = 3,79 \text{ W}$$

Celkovo potrebný príkon pre bezpečnostnú tabuľku:

$$P_{cel} = \frac{P_{LED}}{\eta_{tab}} \text{ [W]} \quad (28)$$

$$P_{cel} = \frac{3,79}{0,8} = 4,74 \text{ W}$$

Vypočítaná hodnota príkonu bezpečnostnej tabuľky je prakticky rovnaká ako hodnota príkonu, ktorá je uvedená v katalógu ( 4,8 W).

- Výpočet možnej rezervy výkonu s ohľadom na hodnotu jasu

Ak vezmeme do úvahy, že veľkosť jasu je priamoúmerná veľkosti príkonu, naskytuje sa nám možnosť znížiť príkon do takej miery, aby minimálny jas neklesol pod hodnotu  $2 \text{ cd/m}^2$ , a stredný jas kontrastnej bielej farby nebol menší ako  $10 \text{ cd/m}^2$ . Najmenšia nameraná hodnota jasu bezpečnostnej tabuľky je  $12,5 \text{ cd/m}^2$ , to znamená, že príkon bezpečnostnej tabuľky môže byť 5 krát nižší a stále bude poskytovať dostatočný jas.

Minimálny jas bezpečnostnej tabuľky:

$$L_{min} = 12,5 \text{ cd/m}^2$$

Minimálny jas po znížení príkonu:

$$L_{vys} = \frac{L_{min}}{5} \text{ [cd/m}^2\text{]} \quad (29)$$

$$L_{vys} = \frac{12,5}{5} = 2,5 \text{ cd/m}^2$$

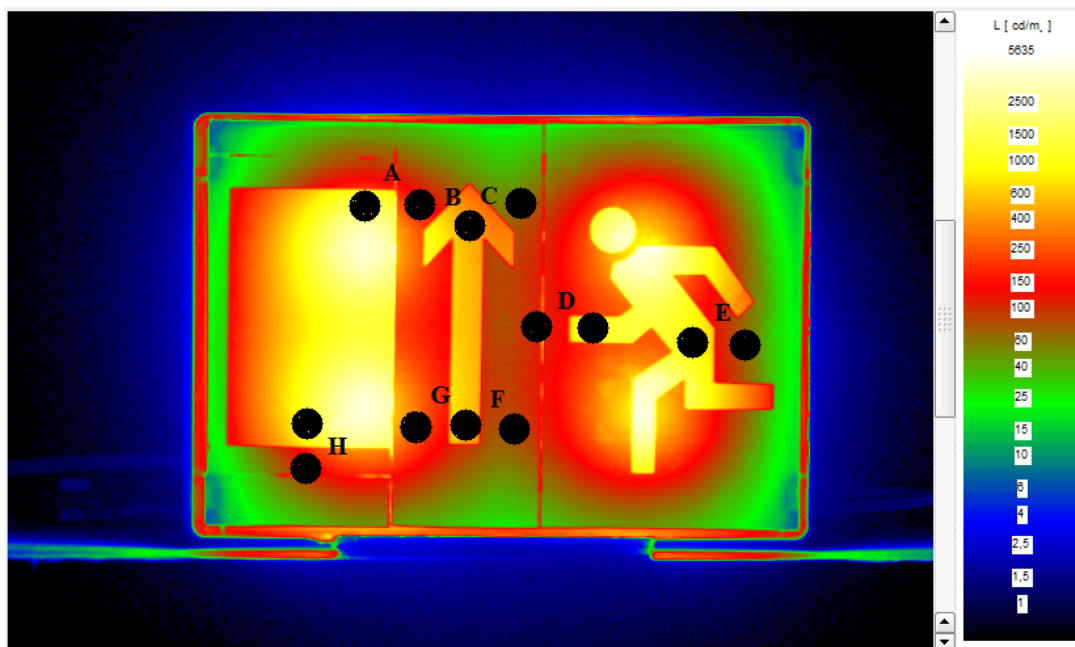
Veľkosť príkonu pre znížený jas:

$$P_{vys} = \frac{P_{cel}}{5} = \frac{4,74}{5} = 0,95 [W] \quad (30)$$

$$P_{vys} = \frac{P_{cel}}{5} = \frac{4,74}{5} = 0,95 W \sim 1W$$

Pre zabezpečenie jasu o veľkosti  $2,5 \text{ cd/m}^2$  bude postačovať príkon 1W. Bezpečnostnú tabuľku s takýmto príkonom je možné bez problémov napájať superkondenzátorom s vhodným stabilizačným obvodom. Zníženie príkonu bude mať vplyv na zníženie stredného jasu kontrastnej bielej farby, ktorý by mal poklesnúť na hodnotu cca  $160 \text{ cd/m}^2$ , čo bude mať za následok, že činiteľ vzdialenosti poklesne na hodnotu 200, takže sa zmení iba veľkosť pozorovacej vzdialenosti.

Ďalšia požiadavka pre bezpečnostné tabuľky požadovaná normou, je pomer jasu medzi bielou a zelenou farbou ktorý nesmie byť menší ako 5:1 a väčší ako 15:1. Tento pomer sa meria v určitých miestach vždy na rozhraní dvoch farieb podľa postupu, ktorý je daný normou. Miesta, v ktorých sa vypočítal pomer jasu sú označené písmenami A až H.



Obr. 45: Miesta styku dvoch farieb pre meranie pomerov jasu

**Výpočet pomerov jasu pre miesta styku dvoch farieb:**

$$\mathbf{A:} k_A = \frac{2200}{200} = 11$$

$$\mathbf{B:} k_B = \frac{450}{200} = 2,25$$

$$\mathbf{C:} k_C = \frac{450}{60} = 7,5$$

$$\mathbf{D:} k_D = \frac{1000}{120} = 8,3$$

$$\mathbf{E:} k_E = \frac{900}{80} = 11,25$$

$$\mathbf{F:} k_F = \frac{600}{80} = 7,5$$

$$\mathbf{G:} k_G = \frac{600}{250} = 2,4$$

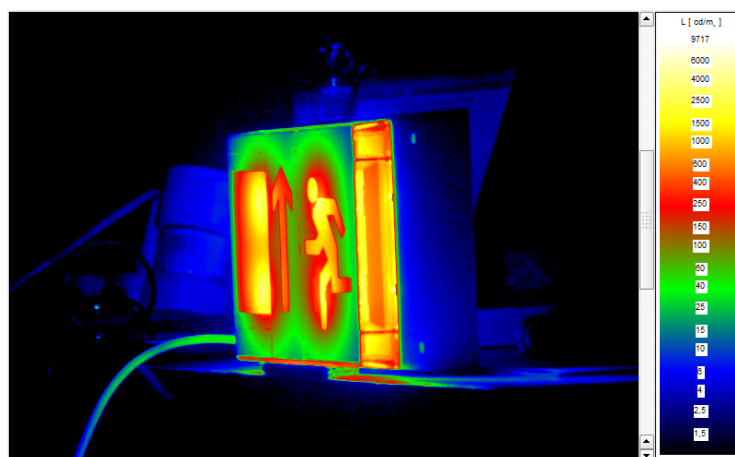
$$\mathbf{H:} k_H = \frac{1100}{120} = 9,16$$

Vypočítané hodnoty pomeru neprekračujú maximálny dovolený pomer daný normou, avšak v dvoch prípadoch sú hodnoty pomeru jasú nižšie ako minimálna požiadavka. Je to spôsobené umiestnením jednotlivých symbolov na bezpečnostnej značke, čo má za následok, že v miestach G a B sa nachádzajú v oblasti, kde LED dióda osvetľuje povrch značky približne rovnakou hodnotou jasú. LED dióda distribuje svetelný tok iba do určitého priestoru, ktorý je charakterizovaný krivkou svietivosti. Krivka svietivosti u výkonových LED diód má zvyčajne tvar kužela, takže svetelný tok dopadá na menšiu plochu ako v prípade použitia žiarivky, pre ktorú táto bezpečnostná značka bola pôvodne navrhnutá. Meranie jasú medzi dvoma príľahlými farbami bolo vykonané podľa normy ČSN EN 1838.

Jas bezpečnostnej tabuľky bol zmeraný aj z dôležitých uhlov pohľadu a to pri  $45^\circ$  a  $70^\circ$ . Bezpečnostná tabuľka musí mať jas ktorejkoľvek bezpečnostnej farby väčší ako  $2 \text{ cd/m}^2$ , čo je v tomto prípade splnené vo všetkých uhloch merania. Tabuľka je dobre viditeľná, v prípade núdzového režimu poskytuje osobám informáciu o smere úniku.



Obr. 46: Bezpečnostná tabuľka z uhla  $45^\circ$



Obr. 47: Bezpečnostná tabuľka z uhla  $75^\circ$

Bezpečnostná tabuľka musí byť osvetlená na 50% požadovanej hodnoty do 5 sekúnd a na plnú požadovanú hodnotu do 60 sekúnd, čo je v prípade použitia LED diód ako svetelného zdroja splnené.

### 5.3.2. Meranie trichromatických súradníc farieb bezpečnostnej tabuľky

Norma ISO 3864 požaduje špeciálne požiadavky pre farby bezpečnostnej tabuľky. Požiadavky sa líšia v závislosti od druhu bezpečnostnej tabuľky a to konkrétne, či sa jedná o tabuľku osvetlenú z vnútra alebo z vonku. V tomto prípade sa jedná o bezpečnostnú tabuľku osvetlenú LED diódami, ktoré sú umiestnené vo vnútri svietidla.

Ak sa farba predmetu napájanej vnútorne osvetľovanej bezpečnostnej značky testuje podľa trichromatických súradníc skúšobných polí, každá farba musí spadať do príslušného pásma. Toto pásmo je špecifikované v tabuľke (tab. 11). Jas každej farby musí mať hodnoty podľa tabuľky (tab. 11) a hodnoty pre kontrast jasu sú uvedené v tabuľke (tab.12). Pomer minimálneho a maximálneho jasu v medziach bielej alebo bezpečnostnej farby musí byť väčší ako 1:5. V prípade, že jas bezpečnostnej farby väčší ako 100 cd/m<sup>2</sup> musí byť pomer minimálneho jasu k maximálnemu jasu v medziach určitej farby väčší ako 1:10. Vyššia hodnota jasu značiek by mala byť prispôbená z dôvodu čitateľnosti a osvetlenia prostredia.

Pre meranie farieb bezpečnostnej tabuľky bol použitý spektrálny kolorimeter pre farbu svetla SPECTRO-RADIOMETER specbos 1211. Tento prístroj meria relatívnu spektrálnu žiarivosť spektrálnou metódou. Namerané výsledky sa udávajú v trichromatických zložkách (X, Y, Z) alebo v trichromatických súradniciach (x, y). Hodnoty musia byť vypočítané pre normálny kolorimetrický pozorovateľ CIE 2°.

#### Prístroj musí spĺňať nasledovné parametre:

- rozsah vlnových dĺžok: 380 nm až 780 nm,
- pásmová priepust: menšia ako 5 nm,
- rozsah jasu: 0,01 cd/m<sup>2</sup> až 15 000 cd/m<sup>2</sup>
- opakovateľnosť jasu:  $\pm 0,01$  cd/m<sup>2</sup>. [44]

Spektrálny kolorimeter pre farbu svetla SPECTRO-RADIOMETER specbos 1211 ktorý bol použitý pre meranie farieb bezpečnostnej značky, všetky hore uvedené požiadavky spĺňa.

## 5. HODNOTENIE VLASTNOSTÍ AUTONÓMNEHO NÚDZOVÉHO SVIETIDLA

**Tab. 11:** Trichromatické súradnice a jas farieb pre vnútorne osvelované bezpečnostné značky

farba	Medzné body pásma farieb <i>Normálny kolorimetrický pozorovateľ CIE 2</i>					Integrovaný svetelný zdroj, žiadne iné vonkajšie osvetlenie
		1	2	3	4	jas [cd/m]
biela	x	0,29	0,265	0,37	0,46	> 10
	y	0,26	0,31	0,405	0,425	> 10
zelená	x	0,201	0,285	0,17	0,26	> 2
	y	0,776	0,441	0,364	0,399	> 2



**Obr. 48:** Miesta, v ktorých boli vykonané merania

Meranie farieb bezpečnostnej tabuľky bolo vykonané v miestach, ktoré sú vyznačené na obrázku (obr.48.) a to v jednom mieste ( C ) pre bielu farbu a v dvoch miestach (B) a (A) pre zelenú farbu. Všetky skúšky sa musia vykonať na hotových značkách, alebo na reprezentatívnych vzorkách s ohľadom na povrchovú štruktúru materiálu a farbu použitej v hotovej značke.

**Tab. 12:** Kontrast jasu pre vnútorne osvelované bezpečnostné značky

bezpečnostná farba	červená	žltá	zelená	modrá
kontrastná farba	biela	čierna	biela	biela
kontrast jasu	$5 < k < 15$	*	$5 < k < 15$	$5 < k < 15$
* čierna ako kontrastná farba alebo ako farba značky nie je prípustná				

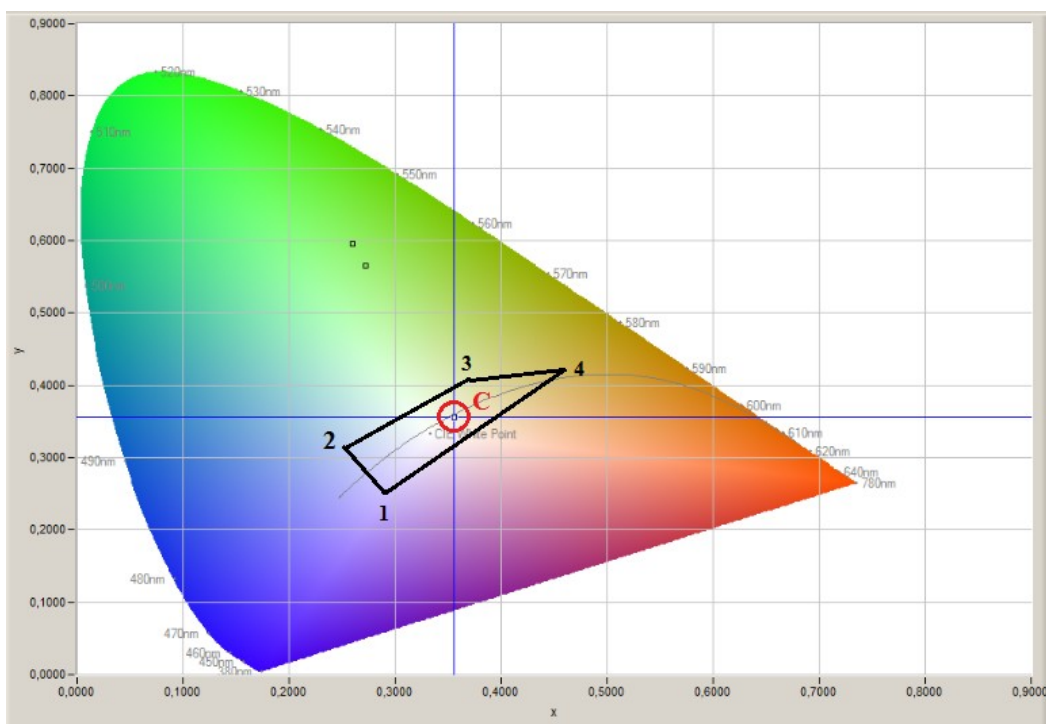
### Namerané výsledky:

Pre meranie farieb bezpečnostnej tabuľky bol použitý Spektrálny kolorimeter pre farbu svetla SPECTRO-RADIOMETER specbos 1211 a výsledky boli spracované v programe JETI LiMeS pre vyhodnotenie výsledkov bola použitá norma ISO 3864.

### Súradnice bodu pre bielu farbu (bod C):

$$x = 0,3562$$

$$y = 0,3561$$



**Obr. 49:** Zobrazenie nameraného bodu (C) bielej farby v kolorimetrickej rovine

Na obrázku (obr.49) je zobrazený nameraný bod bielej farby a vymedzená chromaticnosť pre bielu farbu v ktorej by sa nameraný bod mal nachádzať, aby boli splnené kolorimetrické vlastnosti materiálu podľa normy ISO 3864-4.

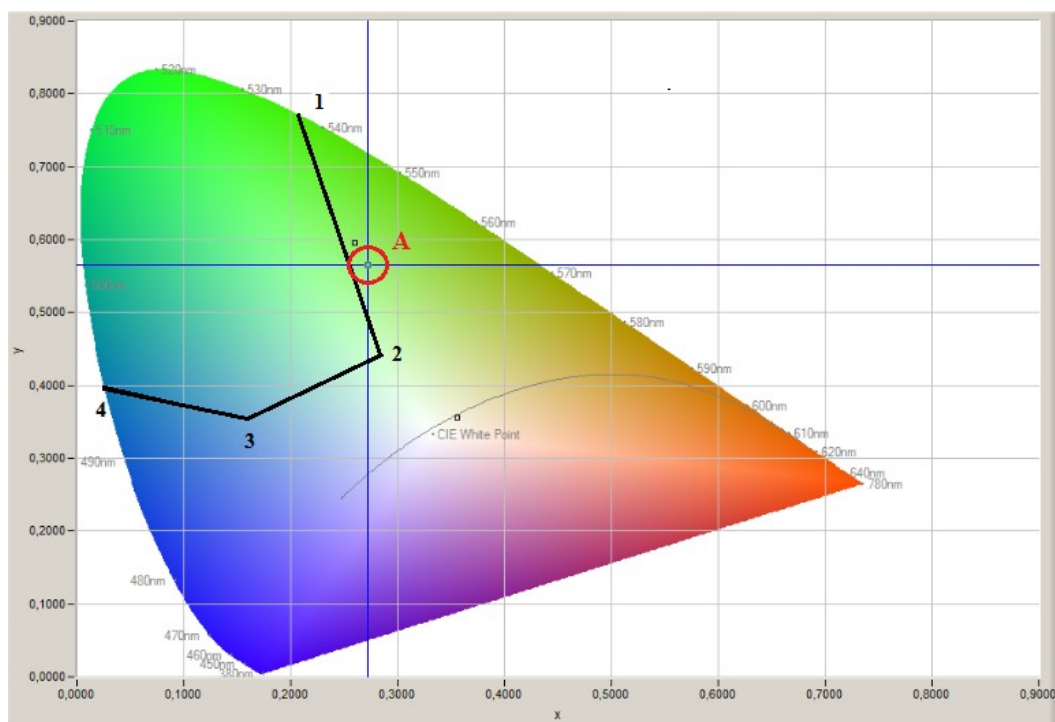
Meranie bielej farby dopadlo úspešne a nameraný bod sa nachádza vo vymedzenej oblasti kolorimetrického trojuholníka.

### Súradnice bodu pre zelenú farbu (bod A):

$$x = 0,2724$$

$$y = 0,5656$$

## 5. HODNOTENIE VLASTNOSTÍ AUTONÓMNEHO NÚDZOVÉHO SVIETIDLA

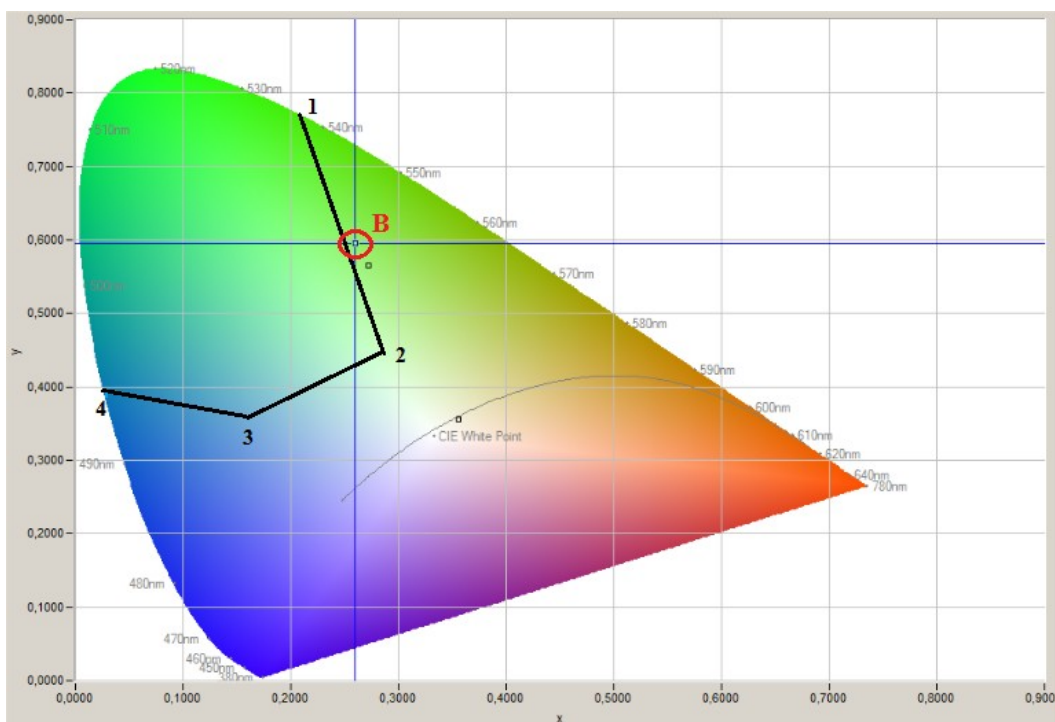


Obr. 50: Zobrazenie nameraného bodu (A) zelenej farby v kolorimetrickej rovine

Súradnice bodu pre zelenú farbu (bod B):

$$x = 0,2601$$

$$y = 0,5955$$



Obr. 51: Zobrazenie nameraného bodu (B) zelenej farby v kolorimetrickej rovine

## 5. HODNOTENIE VLASTNOSTÍ AUTONÓMNEHO NÚDZOVÉHO SVIETIDLA

---

V oboch prípadoch merania zelenej farby (bod A aj bod B) sa nameraný bod nezobrazil vo vymedzenej chromaričnosti ako požaduje norma ISO 3864-4. Tento problém by bolo možné vyriešiť zmenou druhu nálepky, ktorá by bola zhotovená z iného materiálu, alebo použitím LED diódy s iným vyžarovaním.

Program použitý pre meranie farieb okrem zobrazenia bodu v kolorimetrickou trojuholníku takisto poskytuje aj výstup vo forme farebného spektra. Tieto výstupy pre jednotlivé farby sú zobrazené v prílohách I až III.



### 6. Záver

Diplomová práca sa zaoberá aplikáciou núdzových svietidiel vybavených superkondenzátorom do vnútorných priestorov, ktoré musia byť vybavené núdzovým osvetlením. Konkrétne, diplomová práca skúma vlastnosti prototypu núdzového svietidla napájaného superkondenzátorom, ktoré bolo vyvinuté na Vysokej škole banskej v Ostrave. Jedná sa o svietidlo, ktoré ako svetelný zdroj používa výkonovú LED diódu s výkonom 1 W a ako zdroj energie superkondenzátor. Kapacitu superkondenzátora je možné meniť s ohľadom na požadovanú dobu svietenia.

Použitie LED diódy v prototyp svietidla prinieslo značné výhody oproti svetelným zdrojom, ktoré sa používajú v núdzovom osvetlení. Jedná sa predovšetkým o vysoký merný výkon, vyššiu účinnosť a rýchly nábeh svetelného toku na maximálnu úroveň.

Požadovaná doba svietenia núdzového osvetlenia závisí od druhu priestoru, v ktorom je núdzové osvetlenie zriadené a pohybuje sa od hodnoty 15 minút pre priestory ČHÚC A až po dobu, ktorá je neurčitá v priestoroch s veľkým rizikom. Pre skúšaný prototyp núdzového svietidla bola požadovaná doba svietenia 1 hodina a veľkosť kapacity superkondenzátora pre autonómnú funkciu počas tejto doby bola vypočítaná na hodnotu 2352 F. V tomto výpočte je zohľadnená účinnosť LED driveru diódy a takisto aj činiteľ starnutia superkondenzátora. Tento výpočet overil vhodnosť použitia superkondenzátora pre napájanie prototypu núdzového svietidla. Použitím superkondenzátora prevádzkovateľ núdzového osvetlenia nemusí vymieňať záložný zdroj ako v prípade použitia akumulátorových článkov, ktoré sa musia vymieňať každé štyri roky.

Na základe vypočítanej kapacity bol pre prototyp svietidla zvolený superkondenzátor MAXWELL BCAP3000 s kapacitou 3000 F. V prípade použitia núdzového svietidla pre iné druhy priestorov, kde je požadovaná doba svietenia dlhšia, je možno svietidlo vybaviť viacerými superkondenzátormi s vhodným zapojením, avšak za cenu vyšších finančných nákladov.

Pri meraní samovybívania boli merané tri typy superkondenzátorov a to s hodnotou 3000 F, 2000 F a 1200 F. Superkondenzátory boli umiestnené v klimatickej komore a priebehy samovybívania boli zaznamenávané pri štyroch rôznych teplotách ( $-15^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $23^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$ ). Vždy bol zaznamenávaný priebeh napätia na superkondenzátore počas jednej hodiny. Pre získanie predstavy, koľko energie a aké množstvo napätia sa stratilo procesom samovybívania, pre každý superkondenzátor bol vykonaný výpočet poklesu energie a napätia v percentách. Najväčší pokles napätia a energie bol vypočítaný pre superkondenzátor s najnižšou kapacitou 1200 F. Meranie ďalej preukázalo vplyv teploty na proces samovybívania. Vysoké teploty ( $50^{\circ}\text{C}$  a viac), majú za následok jeho rýchlejší priebeh a tým spojený väčší pokles napätia a energie. Teploty okolo  $20^{\circ}\text{C}$  a nižšie priaznivo ovplyvňujú priebeh samovybívania, dá sa povedať, že nízke teploty tento proces spomaľujú.

Pri meraní doby svietenia núdzového osvetlenia boli zaznamenávané dve hodnoty napätia. A to napätie na superkondenzátore a napätie na LED dióde z dôvodu odčítania maximálnej doby svietenia. Pre meranie doby svietenia bol prototyp svietidla vybavený superkondenzátorom s kapacitou 2000 F. Výpočtom bola stanovená celková uložená energia v superkondenzátore na hodnotu 7290 J, a táto energia by mala byť schopná rozsvietiť výkonovú LED diódu na 5832 sekúnd teda približne na 97 minút. Pri meraní doby svietenia, podobne ako pri meraní samovybívania, bol superkondenzátor umiestnený v klimatickej komore a bol vystavený štyrom

rôznym teplotám. Pre každú teplotu bola stanovená limitná hodnota napätia, to je napätie, pri ktorom LED dióda prestala vyžarovať svetelný tok. Hodnota limitného napätia bola rôzna pre jednotlivé teploty, najnižšia bola pre najnižšiu teplotu  $-15^{\circ}\text{C}$  a naopak, najvyššia hodnota limitného napätia bola zaznamenaná pre teplotu najvyššiu  $50^{\circ}\text{C}$ . Namerané doby svietenia sa takisto nepatrne líšili. Najdlhšie svietila LED dióda pre teplote  $-15^{\circ}\text{C}$  a naopak najkratšie, pri teplote  $50^{\circ}\text{C}$ . Rozdiel medzi najdlhším a najkratším časom je približne 5 minút. Pre každé meranie bol vykonaný výpočet pre veľkosť nevyužitej energie superkondenzátora, ktorá sa pohybovala v rozmedzí od 6,1% pre teplotu  $50^{\circ}\text{C}$ , do hodnoty 5,07% pre teplotu  $-15^{\circ}\text{C}$ . Z merania je zrejmé že superkondenzátor s kapacitou 2000 F poskytuje dostatočné množstvo energie pre núdzové svietidlo, od ktorého sa požaduje, aby v núdzovom režime svietilo 1 hodinu. Treba však poznamenať že, pri výbere vhodného superkondenzátora treba brať do úvahy koeficient starnutia.

Svetelné merania boli vykonané pre bezpečnostnú tabuľku od firmy INOTEC. Konkrétne sa jednalo o meranie jasů a meranie farieb bezpečnostnej tabuľky. Pre meranie jasů bezpečnostnej tabuľky bol použitý jasový analyzátor LMK MOBILE ADVANCED. Hlavným cieľom merania bolo zistiť, či tabuľka spĺňa požiadavky na veľkosť a kontrast jasů, ktoré je dané normou. Meraním sa zistilo, že jas bezpečnostnej tabuľky je vo všetkých miestach vyšší ako minimálny jas, ktorý požaduje norma. Avšak pri výpočte kontrastov v dvoch bodoch, z celkového počtu osem bol kontrast medzi bielou a bezpečnostnou farbou príliš nízky. Na základe nameraných hodnôt bol vykonaný teoretický výpočet o možnosti zníženia príkonu, ktorý by umožnil napájať bezpečnostnú tabuľku pomocou superkondenzátora. Prostredníctvom tohto výpočtu sa znížil jas na minimálnu hodnotu požadovanú normou, čo umožnilo znížiť príkon bezpečnostnej tabuľky až na hodnotu jedného Wattu. Bezpečnostnú tabuľku s príkonom 1 Watt by bolo možné bez problémov napájať pomocou superkondenzátora s vhodnou kapacitou.

Pri meraní farieb bezpečnostnej tabuľky boli zmerané tri miesta piktogramu, a to jedno miesto pre bielu farbu a dve miesta pre zelenú. Pre meranie farieb bol použitý spektrálny kolorimeter od firmy JETI. Meraním sa zistilo, že do definovanej oblasti normou ISO 3864-4 spadá iba biela farba. V oboch prípadoch merania zelenej farby sa nameraný bod zobrazil mimo vymedzenú chromaticnosť pre zelenú farbu. Tento nedostatok by odstránilo použitie inej bezpečnostnej nálepky alebo použitie LED diódy s iným vyžarovaním.

Diplomová práca preukázala, že núdzové svietidlo vybavené LED diódou a napájané superkondenzátorom, spĺňa všetky požiadavky na to, aby sa stalo adekvátnym nástupcom doteraz používaných núdzových svietidiel. Oproti klasickým núdzovým svietidlám ponúka radu výhod, i keď za cenu vyšších zriaďovacích nákladov, ktoré sa však v priebehu doby životnosti svietidla vrátia prevádzkovateľovi v podobe ušetrných nákladov na údržbu. Ďalej skúma možnosť použitia superkondenzátora ako zdroja energie pre bezpečnostné tabuľky, ktoré takisto ako núdzové svietidlá zohrávajú dôležitú úlohu v systéme núdzového osvetlenia.

## Použitá literatura:

- [1] ODBORNECASOPISY. Nouzové osvětlení 1. část[online].[cit. 2013-9-14]. Dostupné z:  
< <http://www.odbornecasopisy.cz/nouzove-osvetleni-1-cast-36595.html>>
- [2] ODBORNECASOPISY. Nouzové osvětlení 2. část[online].[cit. 2013-9-14].  
Dostupné z:<<http://www.odbornecasopisy.cz/nouzove-osvetleni-2-cast-37036.html>>
- [3] ODBORNECASOPISY. Nouzové osvětlení 3. část[online].[cit. 2013-9-14]. Dostupné z:  
<<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37412.pdf>>
- [4] ODBORNECASOPISY. Nouzové osvětlení 4. část[online].[cit. 2013-9-20]. Dostupné z:  
<<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37412.pdf>>
- [5] ODBORNECASOPISY. Nouzové osvětlení 5. část[online].[cit. 2013-10-20]. Dostupné z:  
<<http://www.odbornecasopisy.cz/nouzove-osvetleni-5-37975.html>>
- [6] ODBORNECASOPISY. Nouzové osvětlení 6. část[online].[cit. 2013-10-20]. Dostupné z:  
<<http://www.odbornecasopisy.cz/nouzove-osvetleni-6-38298.html>>
- [7] IN-EL. důvod zřizování nouzového osvětlení [online].[cit. 2013-10-15].  
Dostupné z:<<http://www.in-el.cz/?t=201&p=102514>>
- [8] ČSN EN 1838.světlo a osvětlení – Nouzové osvětlení.Praha: Český normalizační institut, 2005. 11s.
- [9] ENERGETICKYPORADCE. Nouzové osvětlení [online].[cit. 2013-10-20]. Dostupné z:<<http://www.energetickyporadce.cz/cs/uspor-y-energie/osvetleni/nouzove-osvetleni/>>
- [10] PROJEKTANTY. Nouzové osvětlení – 1. díl[online].[cit. 2013-9-20]. Dostupné z:  
<<http://www.proprojektanty.cz/osvetlovaci-technika/221-nouzove-osvetleni-1-dil>>
- [11] HORMEN. Nouzové osvětlení požadavky [online].[cit. 2013-11-15]. Dostupné z:  
<<http://www.hormen.cz/files/aktualita-nouzove-osvetleni/hormen-pozadavky-nouzove-osvetleni.pdf>>
- [12] ČSN ISO 3864-4. Grafické značky- Bezpečnostné barvy a bezpečnostní značky – část 4: kolorimetrické a fotometrické vlastnosti materiálů bezpečnostních značek.Praha: Český normalizační institut, 2012. 14s.
- [13] CONDRAD. Nouzové osvětlení s úchytem[online].[cit. 2013-12-15]. Dostupné z:  
<<http://www.conrad.cz/nouzove-osvetleni-se-stropnim-uchytem-beltrona-mexm7-25-03.k754019?icc=category-carousel-2level&icn=toprate-unikovy-vychod-znacen>>
- [14] TZB-INFO. Nouzové osvětlení ( I ) [online].[cit. 2013-12-10]. Dostupné z:  
<<http://www.tzb-info.cz/4463-nouzove-osvetleni-i>>

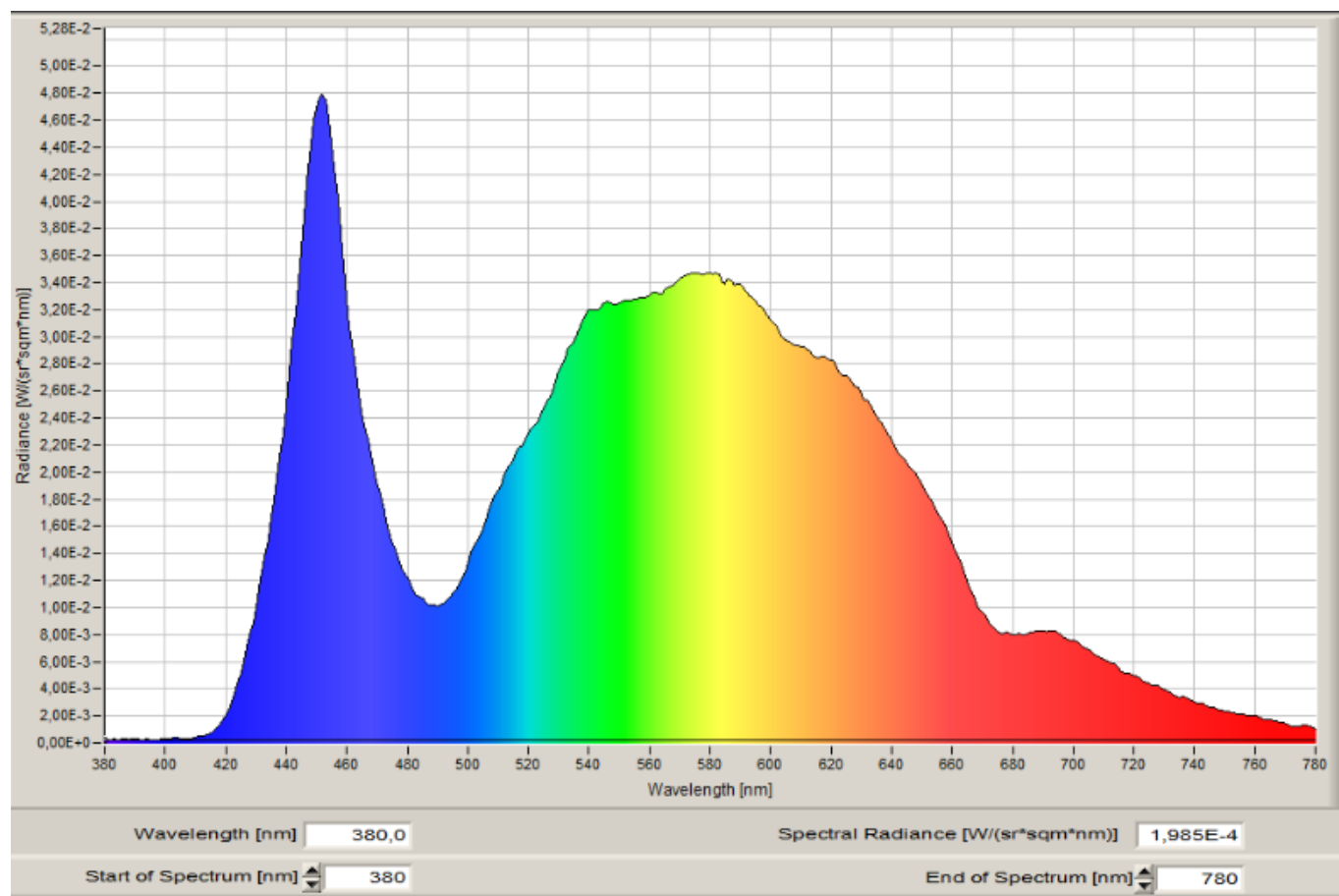
- [15] ELEKTROPRUMYSL. údržba a zkoušky nouzového únikového osvětlení [online]. [cit. 2013-12-15]. Dostupné z:  
<<http://www.elektroprumysl.cz/osvetlovaci-technika/udrzba-a-zkousky-nouzoveho-unikoveho-osvetleni>>
- [16] ODBORNECASOPISY. Nouzové osvětlení – srovnání systémů s centrálním zdrojem a s decentralizovanými akumulátory [online]. [cit. 2013-12-25]. Dostupné z:  
<<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39779.pdf>>
- [17] BEGHELLI. Nouzová svítidla a systémy nouzového osvětlení [online]. [cit. 2013-01-20]. Dostupné z:  
<<http://www.beghelli.cz/sites/default/files/downloads/nouzovy-katalog-150dpi.pdf>>
- [18] ENVIspot a.s. prezentácia nouzové osvětlení dle ČSN EN 1838 [online]. [cit. 2013-01-20]. Dostupné z:<<http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/12.htm>>
- [19] NORTHCLIFFE. Núdzový monitorovací systém [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z:  
<[http://www.northcliffe.org/cz/ems\\_em\\_cz.html](http://www.northcliffe.org/cz/ems_em_cz.html)>
- [20] SVITIDLA-DELTALIGHT. LED svítidla-nové trendy [online]. [cit. 2014-01-5]. Dostupné z:  
<<http://www.svitidla-deltalight.cz/clanky/led-svitidla-nove-trendy-ve-svetelných-zdrojích/>>
- [21] SVN. Světelné zdroje a svítidla pro veřejné osvětlení v roce 2012 [online]. [cit. 2014-01-5]. Dostupné z:  
<<http://www.svn.cz/assets/files/informacni-materialy/2012/Svetelne-zdroje-a-svitidla-ve-VO.pdf>>
- [22] VAELEKTRONIK. chlazení LED diod a účinnost [online]. [cit. 2014-01-29]. Dostupné z:  
<[http://vaelektronik.cz/led\\_chlaz.html](http://vaelektronik.cz/led_chlaz.html)>
- [23] VAELEKTRONIK. Co je dobré vědět [online]. [cit. 2014-01-29]. Dostupné z:  
<[http://vaelektronik.cz/led\\_info.html](http://vaelektronik.cz/led_info.html)>
- [24] VAELEKTRONIK. Osvětlovací LED diody [online]. [cit. 2014-01-29]. Dostupné z:  
<[http://vaelektronik.cz/led\\_spektra.html](http://vaelektronik.cz/led_spektra.html)>
- [25] VAELEKTRONIK. Napájení osvětlovacích LED diod [online]. [cit. 2014-01-29]. Dostupné z:<[http://vaelektronik.cz/led\\_napaj.html](http://vaelektronik.cz/led_napaj.html)>
- [26] HABEL, Jiří. A KOLEKTIV: světelná technika a osvětlování. Praha: FCC Public, 1995, 437 s. ISBN 80-901-9850-3.
- [27] WIKIPEDIA. LED dioda [online]. [cit. 2014-02-13]. Dostupné z:  
<[http://vaelektronik.cz/led\\_napaj.html](http://vaelektronik.cz/led_napaj.html)>
- [28] JABLOTRADE. Led osvětlení úvod [online]. [cit. 2014-02-15]. Dostupné z:  
<<http://www.jablotrade.cz/led-osvetleni/led-osvetleni-uvod/>>

- [29] ODBORNECASOPISY. Světelné zdroje – světelné diody [online].[cit. 2014-02-10]. Dostupné z:<<http://www.jablotrade.cz/led-osvetleni/led-osvetleni-uvod/>>
- [30] SPSEMOH. diody [online].[cit. 2014-01-10].  
Dostupné z:< <http://www.spsemoh.cz/vyuka/zel/diody.htm>>
- [31] DHLSERVIS. Pulsně šířková modulace [online].[cit. 2014-01-7].  
Dostupné z:<<http://www.dhservis.cz/psm.htm>>
- [32] WIKIPEDIA. Žiarivka [online].[cit. 2014-01-18].  
Dostupné z:<<http://sk.wikipedia.org/wiki/%C5%BDiarivka>>
- [33] WIKIPEDIA. Nikl-kadmiový akumulátor [online].[cit. 2014-01-1].Dostupné z:  
<[http://cs.wikipedia.org/wiki/Nikl-kadmiový\\_akumulátor](http://cs.wikipedia.org/wiki/Nikl-kadmiový_akumulátor)>
- [34] COPTTEL. Nikl-metal hydridové [online].[cit. 2014-01-1].Dostupné z:  
<<http://copttel.coptkm.cz/?action=2&doc=17700&docGroup=-1&cmd=0&instance=1>>
- [35] TZB-INFO. superkondenzátory [online].[cit. 2014-03-1].Dostupné z:  
< <http://oze.tzb-info.cz/teorie-obnovitelna-energie/6710-superkondenzatory>>
- [36] Zdeněk Mašek, Stynislav Gregora, Jan Michl, Karel Dvořák. Superkapacity v dopravní technice [online].[cit. 2014-03-1].Dostupné z:  
<<http://www.buspress.cz/wp-content/uploads/2012/10/Superkapacity.pdf>>
- [37] Pavel Dědourek. Superkondenzátor – princip a použití [online].[cit. 2014-03-5].Dostupné z:  
<[http://www.dedalebeda.wz.cz/skola/upload/02FM1/super\\_capacitor.pdf](http://www.dedalebeda.wz.cz/skola/upload/02FM1/super_capacitor.pdf)>
- [38] MAXWELL. Product guide [online].[cit. 2014-03-8].Dostupné z:  
<[http://www.maxwell.com/products/ultracapacitors/docs/1014627\\_boostcap\\_product\\_guide.pdf](http://www.maxwell.com/products/ultracapacitors/docs/1014627_boostcap_product_guide.pdf)>
- [39] ECOM. superkapacity [online].[cit. 2014-03-8].Dostupné z:  
<<http://www.ecom.cz/files/documents-news/108.pdf>>
- [40] AKUVAVRA. Trakční – záložní akumulátor [online].[cit. 2014-03-12].Dostupné z:  
<<http://www.akuvavra.cz/eshop/tracni-zalozni-akumulator-6v-12ah-151x51x94-p1269.html>>
- [41] WIKIPEDIA. Olověný akumulátor [online].[cit. 2014-03-8].Dostupné z:  
<[http://cs.wikipedia.org/wiki/Olov%C4%9Bn%C3%BD\\_akumul%C3%A1tor](http://cs.wikipedia.org/wiki/Olov%C4%9Bn%C3%BD_akumul%C3%A1tor)>
- [42] AKU-BAT. Baterie pro nouzová světla [online].[cit. 2014-03-10].Dostupné z:  
<<http://aku-bat.cz/index.php?s=product&id=1876>>
- [43] SHOP.BATTEX. Baterie nikel-metal [online].[cit. 2014-03-10].Dostupné z:  
< <http://shop.battex.cz/oblasti/ostatni.php>>

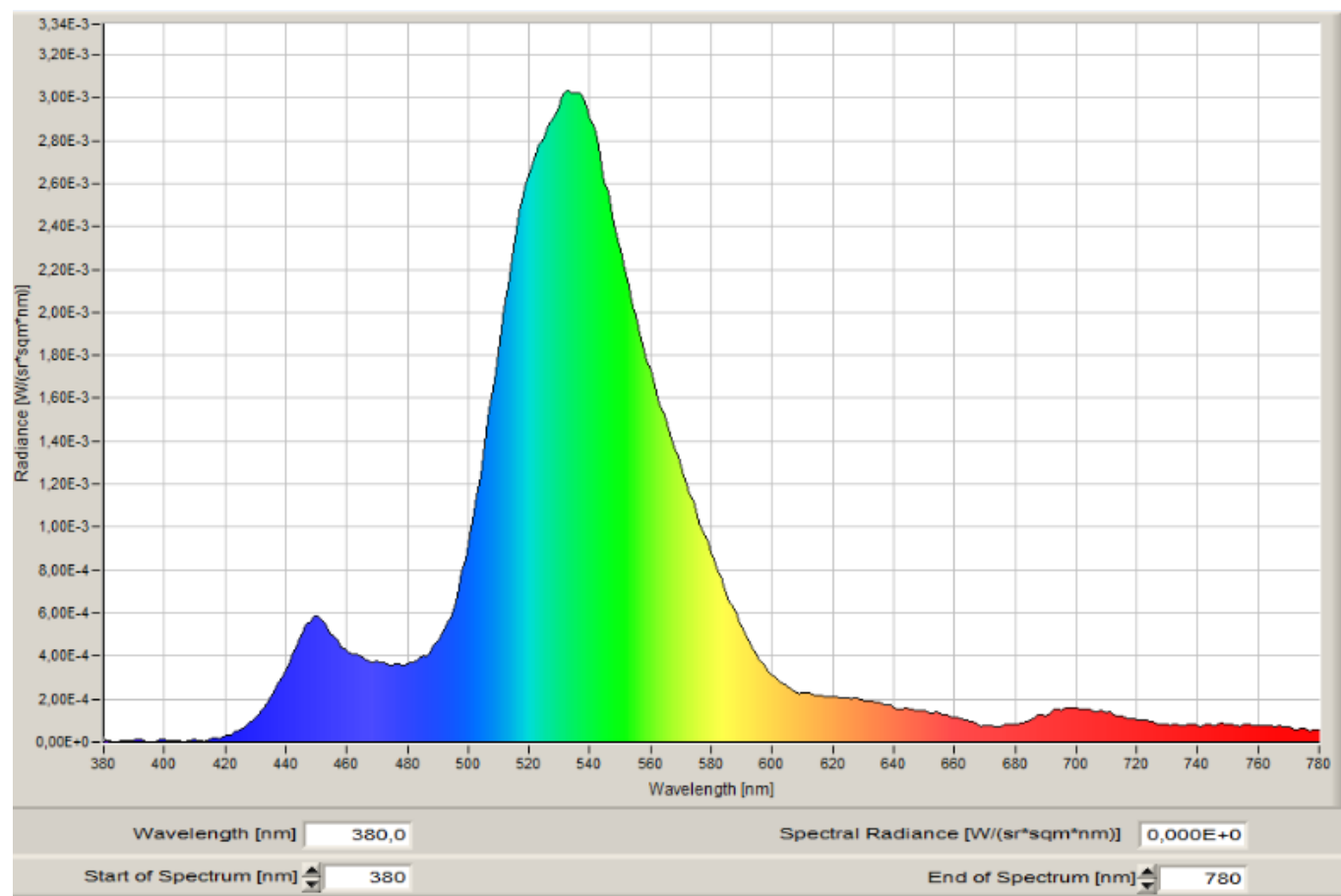
- [44] ČSN ISO 3864-1. Grafické značky- Bezpečnostné barvy a bezpečnostní značky – část 1: Zásady navrhování bezpečnostních značek a bezpečnostního značení, 2012. 14s,18s,7s,8s.

## Zoznam príloh:

### I Príloha: Spektrum bielej farby bod C

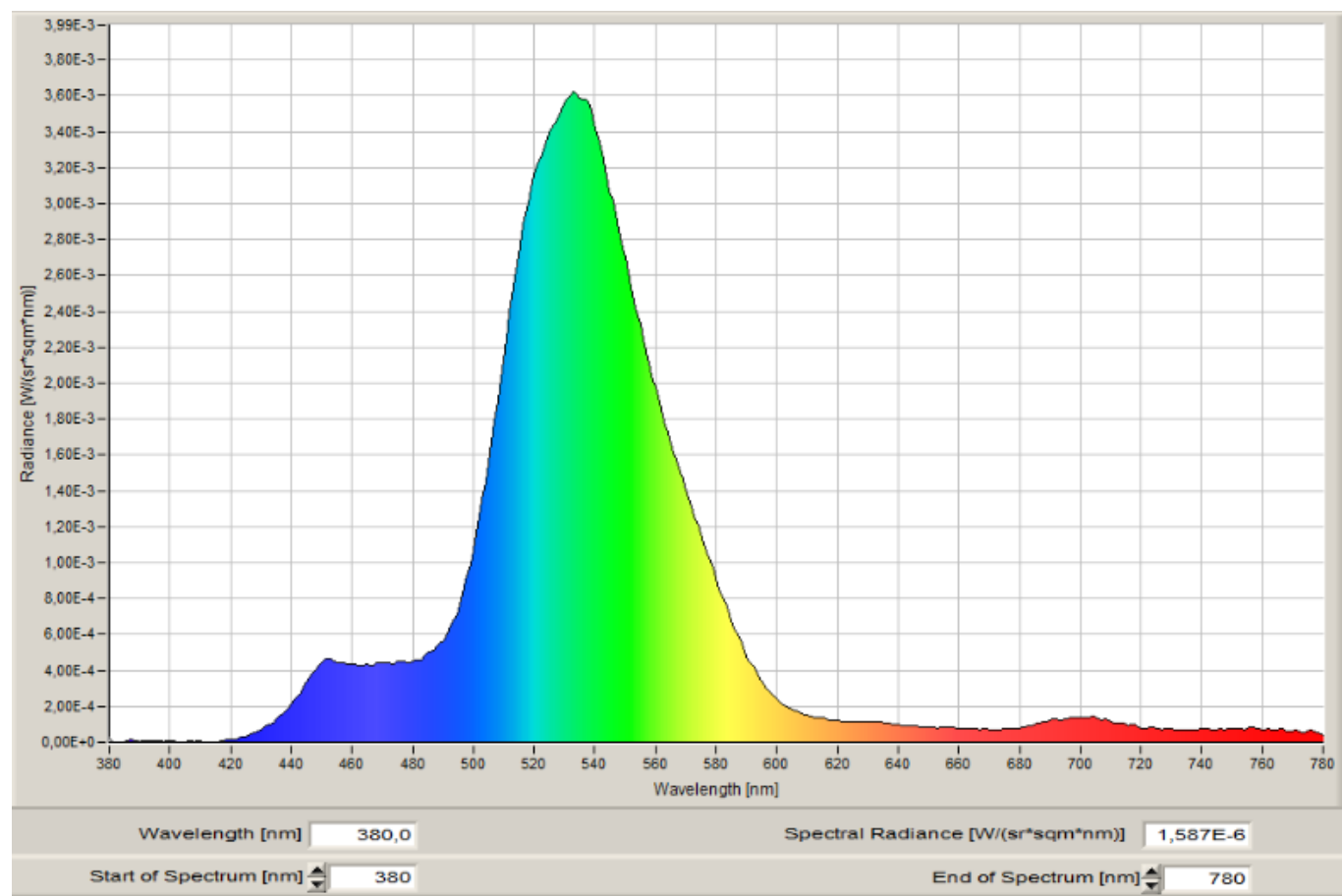


## II Príloha: Spektrum zelenej farby pre bod A

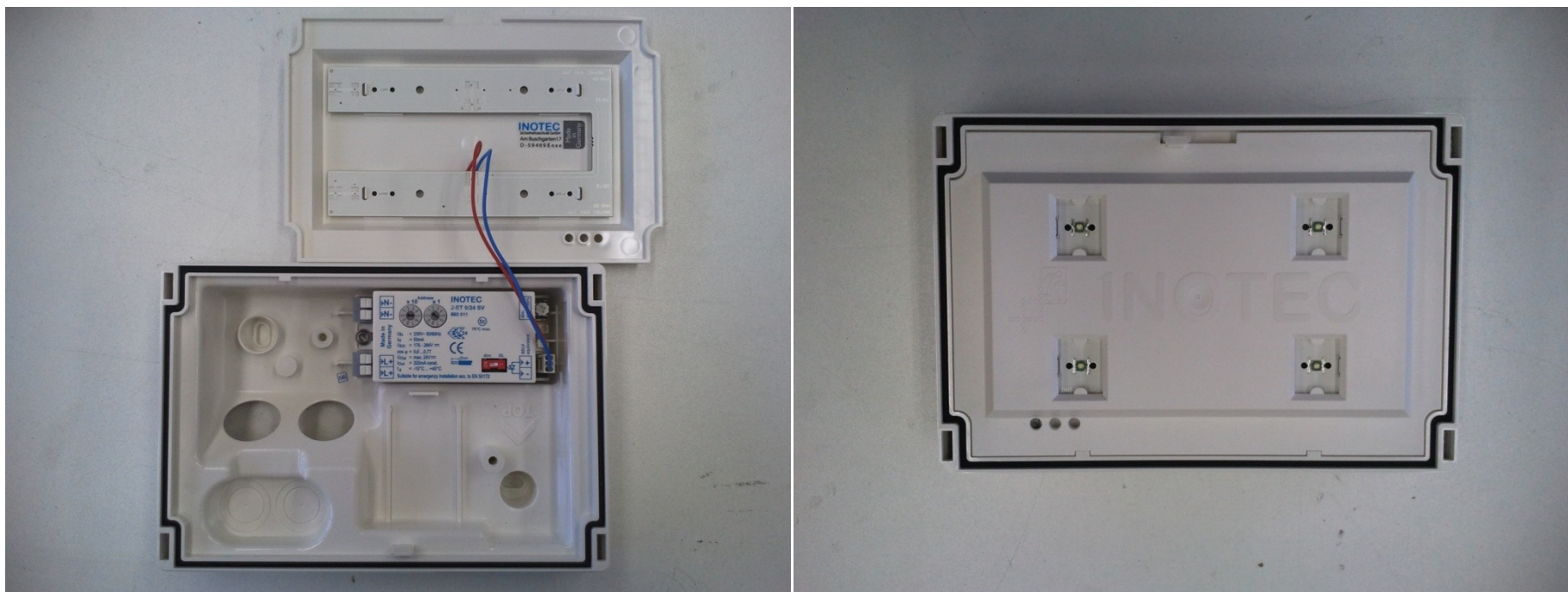




### III Príloha: Spektrum zelenej farby pre bod B



### IV **Príloha:** Fotodokumentácia bezpečnostná tabuľka bez núdzovej nálepky



**V Príloha:** Fotodokumentácia prototypu samostatného núdzového svietila

